

Sensoriverkon tilan esittäminen kart- tapohjaisessa käyttöliittymässä

Matti Pitkänen

Opinnäytetyö

Maaliskuu 2017

Luonnontieteiden ala

Tradenomi (AMK), tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Pitkänen, Matti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2017
	Sivumäärä 43 + 10	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Sensoriverkon tilan esittäminen karttapohjaisessa käyttöliittymässä		
Tutkinto-ohjelma Tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jarkko Immonen		
Toimeksiantaja(t) Landis+Gyr Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Landis+Gyrillä on kiinnitetty huomiota tarpeeseen toteuttaa karttaintegraatio osaksi yrityksen järjestelmätuotetta, jossa sensoriverkosta saatavaa dataa voitaisiin esittää kartalla. Datat visualisoiminen kartalla mahdollistaisi nopeamman ja tehokkaamman tavan löytää ja ratkaista mahdolliset häiriötilanteet sensoriverkossa.</p> <p>Tutkimusten ja löydetyn teoriapohjan perusteella selvitettiin mahdollisia ratkaisuja, kuinka karttapohjainen käyttöliittymä voitaisiin toteuttaa, jotta se olisi käytettävyydeltään mahdollisimman hyvä ja palvelisi Landis+Gyrin tarpeita. Tutkimuksessa käytettiin laadullisia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla selvitettiin menetelmät, kuinka sensoriverkosta saatavaa dataa voitaisiin visualisoida karttapohjalla käyttäjäystävällisesti.</p> <p>Tutkimuksen pohjalta kehitettiin kaksi erilaista käyttöliittymävaihtoehtoa, joissa oli toteutettuna toimintoja, joita mahdolliset loppukäyttäjät voisivat tarvita. Käyttöliittymävisuaalinen ilme pidettiin samanlaisena. Eroavaisuutena olivat palkkien sijoittuminen ja toiminto- sekä informaatioikkunoiden käyttäytyminen karttakäyttöliittymässä. Toinen käyttöliittymästä mukaili perinteisempää käyttöliittymää, joka sisälsi sivupalkkeja, kun taas toinen käyttöliittymä perustui koko näyttötilan peittävään karttaan.</p> <p>Käyttöliittymät arvioitiin käyttämällä mukautettua käytettävyyssarviointia, joka perustui Nielsenin ohjeistukseen heuristisesta arvioinnista. Käytettävyyssarvioinnilla löydettiin mahdolliset ongelmat kehitettyjen käyttöliittymävaihtoehtojen käytettävyydessä ja selvitettiin mahdolliset parannusehdotukset. Arvioinnin avulla selvitettiin myös kumpi käyttöliittymästä täyttää paremmin Landis+Gyrin tarpeet ja näin ollen auttaisi valitsemaan oikean toteutustavan mahdollisesti toteutettavalle käyttöliittymälle.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Sensoriverkko, käytettävyys, käytettävyyden arviointi, karttakäyttöliittymä		
Muut tiedot Liite 1 ja liite 2 ovat salaisia 12.09.2021 saakka.		

Author(s) Pitkänen, Matti	Type of publication Bachelor's thesis	Date March 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 43 + 10	Permission for web publication: x
Title of publication Visualization of Sensor Network Status in Map Application		
Degree programme Business Information Systems		
Supervisor(s) Jarkko Immonen		
Assigned by Landis+Gyr Oy		
<p>Abstract</p> <p>Landis+Gyr has paid attention to the need to create a map-based application which could visualize the information from sensor network. Visualizing data on a map would allow a faster and more effective way to find and resolve possible failures in the sensor network.</p> <p>Possible solutions for implementing a map-based application with the best possibly usability and serving the needs of Landis+Gyr were researched based on relevant studies and literature on the subject. The research was conducted using qualitative methods and techniques for visualizing data received from sensor networks in a map with good usability.</p> <p>Two different user interface options were developed including a few functions that possible end-users could need. The visual appearance of user interfaces was considered the same. Differences between user interfaces were positioning and behavior of sidebars, action windows and information windows. The first user interface was based on traditional user interface with sidebars while the second one was based on the map which covers entire screen.</p> <p>The usability of the developed user interfaces was evaluated using customized usability evaluation based on Nielsen's heuristic evaluation guidelines. The usability evaluation discovered potential problems in the usability of the interface options and helped to clarify possible proposals for improvements. This evaluation also examined which of the user interfaces meets the needs of Landis+Gyr better and helps the company to choose the right implementation for a user interface possibly implemented in the future.</p>		
Keywords/tags (subjects) Sensor network, usability, usability evaluation, map application		
Miscellaneous Attachment 1 and attachment 2 are confidential until 12.09.2021.		

Sisältö

Määritelmät ja sanasto	4
1 Johdanto.....	5
2 Tutkimusasetelma	6
2.1 Toimeksiantaja ja tutkimuksen tavoite	6
2.2 Tutkimuskysymykset	7
2.3 Tutkimusmenetelmä	7
3 Sensoriverkko	8
3.1 Tyypillinen sensoriverkko	8
3.1.1 Sensorit	9
3.1.2 Tiedonsiirtomenetelmät ja kommunikointi.....	10
3.1.3 Tiedon kerääminen ja valmistelu	12
3.1.4 Sovellusalueet.....	12
3.2 Esineiden internet	14
3.3 Verkon rakenne eli topologia	14
3.3.1 Tähtiverkko	15
3.3.2 Mesh-verkko	15
3.3.3 Hybridiverkko.....	16
3.4 Älykäs sähköverkko	17
4 Käyttöliittymäsuunnittelu	18
4.1 Mikä on käyttöliittymä?	18
4.2 Käyttöliittymäsuunnittelun periaatteet	19
4.2.1 Käytettävyys.....	20
4.2.2 Käytettävyyden arviointi.....	24
4.2.3 Käytettävyyden arviointimenetelmät.....	25
4.3 Sensoriverkko karttapohjaisessa käyttöliittymässä	29
4.4 Karttakäyttöliittymän käytettävyys	29

4.4.1	Käytettävyystudkimus	29
4.4.2	Johtopäätökset	32
4.5	Menetelmät karttakäyttöliittymän käytettävyyden parantamiseen	33
4.5.1	Paikkatietueiden esittäminen ja klusterointi.....	33
4.5.2	Kerrokset.....	35
4.5.3	Karttatyyppi	35
4.5.4	Erilaiset paikkatietue-markerit	36
5	Karttakäyttöliittymäprototyyppien toteuttaminen	36
6	Käyttöliittymävaihtoehtojen käytettävyyssarviointi	36
6.1	Arvioinnin suoritus	36
6.2	Arvioinnin tulokset	37
7	Pohdinta ja yhteenveto	38
	Lähteet.....	41
	Liitteet	44
	Liite 1. Käytettävyyssarvioinnissa käytetyt apukysymykset	44
	Liite 2. Karttakäyttöliittymäprototyyppien toteuttaminen.....	44

Kuviot

Kuvio 1. Sensoriverkko	9
Kuvio 2. Langattoman sensoriverkon OSI-malli	12
Kuvio 3. Tähtitopologia	15
Kuvio 4. Mesh-verkon topologia	16
Kuvio 5. Hybridiverkon topologia.....	17
Kuvio 6. Järjestelmän hyväksyttävyys	23
Kuvio 7. Arvioijien määrän vaikutus käytettävyyso ongelmien löytymiseen heuristisessa arvioinnissa.....	26
Kuvio 8. Paikkatietueiden jakautuminen klustereihin	34
Kuvio 9. Ruudukkopohjaisen klusteroinnin ongelma.....	34

Määritelmät ja sanasto

AJAX	Tekniikka web-sovelluskehityksessä
API	Ohjelmointirajapinta
Back-end	Palvelinpuolella tapahtuvat taustaprosessit
Bluetooth	Langaton tiedonsiirtoprotokolla
Bootstrap	Koodikirjasto
CSS	Tyylikieli
Front-end	Edustajärjestelmä, joka näkyy käyttäjälle esimerkiksi selaimessa
HTML	Selainpuolen ohjelmointikieli
Internet of Things(IoT)	Esineiden internet, internet-verkon laajentuminen laitteisiin ja koneisiin
JavaScript	Ohjelmointikieli
Langaton sensoriverkko(WSN)	Älykkäiden laitteiden muodostama langaton verkko, jossa laitteet voivat kommunikoida keskenään
Multi-hop	Ominaisuus, jossa tiedonsiirto tapahtuu hyväksikäyttäen toista samanarvoista sensoria
OSI-malli	Tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmä
Smart Grid	Älykäs sähköverkko
User Interface(UI)	Käyttöliittymä
Wi-Fi	Langaton lähiverkkotekniikka

1 Johdanto

Nykypäivänä erilaiset graafiset käyttöliittymät, joissa käytetään karttapohjaa paikkojen sijainnin esittämiseen tai erilaisten tapahtumien visualisoimiseen, ovat yleistyneet vauhdilla. Karttapohjia käytetään yleensä paikkatietueiden tai niistä saatavan datan näyttämiseen. Tällaisia tietueita voivat olla muun muassa yritysten toimipaikat, matkareitit tai suuremmassa mittakaavassa erilaiset sensoriverkot, joissa karttapohjaa käytetään verkoston laitteiden visualisoimiseksi ja niistä saatavan informaation esittämiseksi nopeasti ymmärrettävällä tavalla.

Suuren sensoriverkoston esittäminen karttapohjaisessa käyttöliittymässä tuokin haasteita johtuen verkoston laitteiden suuresta määrästä. Lisäksi mittauslaitteiden tuottama datamäärä luo omat haasteensa. Tällaisen datamäärän esittäminen karttapohjalla vaatii huolellista suunnittelua, sillä käyttöliittymän täytyy olla käytettävyydeltään hyvä ja käyttäjäystävällinen.

Sensoriverkon visualisoiminen ja siihen liittyvien tietojen esittäminen vaatii tiettyjä ratkaisuja, jotta suuri datamäärä saadaan esitettyä karttapohjalla selkeästi ja ymmärrettävästi. Tärkeitä ovat myös käyttöliittymän taustalla toimivat prosessit, jotka mahdollistavat suuren datamäärän tehokkaan ja nopean esittämisen. Tämä opinnäytetyö keskittyy kuitenkin käyttöliittymän ulkoiseen suunnitteluun sensoriverkon visualisoinnin osalta karttapohjaisessa käyttöliittymässä.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan sensoriverkkoihin, sensoriverkon osiin ja tiedonsiirtomenetelmiin sekä käyttöliittymiin ja käyttöliittymäsuunnittelun perusperiaatteisiin. Käydään läpi mitä tarkoittavat termit käytettävyys, mitkä ovat menetelmät sen kehittämiseksi ja arvioimiseksi, haasteet sensoriverkon visualisoinnissa karttapohjalla sekä kuinka parannetaan karttapohjaisen käyttöliittymän käytettävyyttä, joka visualisoi suurta datamäärää.

Opinnäytetyössä käytettiin kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä teoriapohjan keräämiseksi, jonka avulla rakennettiin kaksi erilaista käyttöliittymäratkaisua. Valmiita käyttöliittymiä arvioitiin käyttämällä käytettävyysarviointia, jonka avulla selvitettiin

kehitettyjen karttapohjaisten käyttöliittymien käytettävyyssongelmat ja etsittiin parannuksia suurikokoisen sensoriverkon tilan järkevään esittämiseen karttakäyttöliittymässä.

2 Tutkimusasetelma

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen toimeksiantaja sekä tutkimuksen tausta ja tavoitteet. Käydään läpi tutkimuskysymykset, jotka nousivat esiin tutkimuksen taustasta ja tavoitteista sekä kuvataan tutkimusmenetelmät, joiden avulla tutkimuskysymyksiin saadaan vastaukset.

2.1 Toimeksiantaja ja tutkimuksen tavoite

Toimeksiantajana toimii Landis+Gyr, joka on Toshiba-konsernin itsenäinen tytäryhtiö. Yritys toimittaa energianmittaus- ja -hallintaratkaisuja sähkö-, kaukolämpö-, kaasusekä vesiyhtiöille ja on alansa markkinajohtaja. Landis+Gyr toimii 30 maassa ympäri maailmaa. Suomen Jyväskylän yksikkö on yksi globaaleista etäluentajärjestelmien ja älykkään mittauksen teknologiakeskuksista. Tällä hetkellä (2017) Suomen yksikössä työskentelee yli 200 alan ammattilaista. (Landis+Gyrin [www-sivusto](http://www.landisgyr.com))

Landis+Gyrillä on kiinnitetty huomiota tarpeeseen toteuttaa karttaintegraatio osaksi yrityksen järjestelmätuotetta, jossa sensoriverkosta saatavaa dataa voitaisiin esittää kartalla. Datan visualisoiminen kartalla mahdollistaisi nopeamman ja tehokkaamman tavan löytää ja ratkaista mahdolliset häiriötilanteet sensoriverkossa.

Tavoitteena on tutkia, millaisia eri menetelmiä voidaan käyttää sensoriverkon visualisoinnissa, jotta tuloksena olisi mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja käytettävyydeltään hyvä karttapohjainen käyttöliittymä. Tutkimustulosten perusteella toteutetaan kaksi erilaista käyttöliittymäprototyyppiä, joiden avulla pyritään selvittämään oikea toteutustapa mahdolliselle tulevaisuudessa toteutettavalle käyttöliittymälle, joka kehitetään Landis+Gyrin tarpeisiin sopivaksi. Prototyyppien kehityksessä käytetään Bootstrap-koodikirjastoa, joka tarjoaa valmiita tyylimäärittelyitä ja HTML-rakenteita www-sivun kehitystä varten. Kartan kehityksessä käytetään Google Maps JavaScript APIa. Rajallisten resurssien vuoksi tutkimuksessa on keskitytty karttakäyttöliittymän

ulkoasuun ja toimintoihin. Tietokantojen ja muiden taustalla pyörivien prosessien suunnitteluun ja toteutukseen ei tässä opinnäytetyössä perehdytä.

2.2 Tutkimuskysymykset

Toimeksianto ja tutkimuksen aihe nostivat esiin kysymyksiä, joihin tarvitaan vastaukset. Kysymykset ovat seuraavat:

1. Kuinka sensoriverkosta saatua dataa voidaan esittää käyttäjäystävällisesti karttakäyttöliittymässä?
2. Mikä on paras esitystapa Landis+Gyrin tapauksessa?

2.3 Tutkimusmenetelmä

Tässä tutkimuksessa käytetään laadullisia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla pyritään selvittämään, kuinka sensoriverkosta saatua dataa voitaisiin visualisoida käyttäjäystävällisesti ja mitä erilaisia tapoja on esittää dataa kartalla. Tutkimus on suurelta osin aineisto- ja teorialähtöistä, joten aineisto on kerätty kirjoista sekä erilaisista artikkeleista. Hankittu aineisto analysoidaan käytettävyyden näkökulmasta, jossa korostuvat karttakäyttöliittymän ulkoasu ja suuren datamäärän esitystapa. Saatujen tulosten perusteella suunnitellaan kaksi erilaista käyttöliittymäratkaisua sekä tehdään prototyyppi käyttäen mahdollisia kuviteltuja käyttäjätilanteita, joissa käyttäjän täytyy pystyä tekemään ennalta määritettyjä toimintoja.

Toteutetuille prototyypeille tehdään käytettävyydsarviointi, jonka perusteella arvioidaan, soveltuuko prototyypeissä laadullisten tutkimusmenetelmien avulla toteutettu datan esitystapa Landis+Gyrin tarpeisiin. Arvioinnin tuloksista saadaan myös selville mahdolliset ongelmakohdat prototyypeissä ja datan esitystavoissa, jotka voidaan mahdollisessa toteutettavassa sovelluksessa ottaa huomioon. Tutkimuksessa käytetään käytettävyyden arviointimenetelmänä käytettävyydsarviointia, joka mukailee Nielsenin (1993) heuristisen arvioinnin ohjeistusta. Käytettävyydsarvioinnin perusteella arvioidaan, täyttävätkö laadullisten tutkimusmenetelmien pohjalta toteutetut ratkaisut Landis+Gyrin tarpeet. Käytettävyydsarvioinnissa käytettävyyden asiantuntijat ja mahdolliset loppukäyttäjät testaavat järjestelmän toimivuutta ja arvioivat apukysy-

mysten avulla järjestelmän käytettävyyttä. Käytettävyyttä ja toimintaa voidaan arvioida myös vertailemalla suunniteltuja käyttöliittymäratkaisuja keskenään. Käytettävyyssarvioinnista saadut tulokset analysoidaan ja arvioidaan käyttöliittymävaihtoehtojen soveltuvuutta jatkokehitykseen sekä tehdään johtopäätökset, kuinka sensoriverkon visualisointi onnistui ja kuinka sitä voidaan hyödyntää Landis+Gyrin tapauksessa.

Tutkittaessa asioita tai ilmiöitä, joita ei voida mitata määrällisesti, käytetään kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimusmenetelmiä. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa pyritään löytämään monenlaisia suhteita tapahtumien väliltä ja tutkimaan niitä laajasti. Perimmäinen tarkoitus on kuitenkin selvittää tosiasiat, eikä vain toistaa valmiiksi kerrottuja väittämiä tai teorioita. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2006, 156-157.)

Laadullinen tutkimus voi olla aineisto- tai teorialähtöistä. Teoria ja tutkittu aineisto voivat johtaa erilaisten tulkintojen tekemiseen ja mahdollisten uusien näkökulmien kehittämiseen. Laadullinen tutkimus voi johtaa myös kokonaan uuteen teoriaan tai vanhan teorian muokkaukseen. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

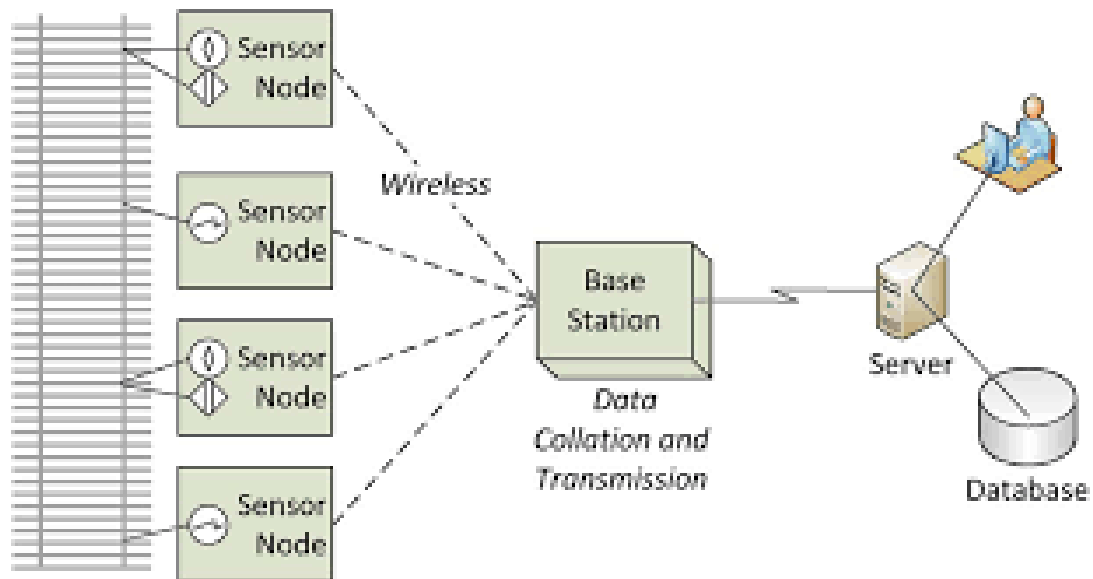
3 Sensoriverkko

Sensoriverkolla tarkoitetaan erilaisten laitteiden verkostoa, joilla voidaan mitata, tarkkailla ja hallita erilaisia tapahtumia ja ilmiöitä. Sensoriverkkoja käytetään tiedon keräämiseen ja mittaukseen sekä laitteiden hallintaan. Tyypillinen sensoriverkko koostuu neljästä eri komponentista, joita ovat sensorit, verkoston määritelty tiedonsiirto ja kommunikointi, tiedon keräys ja valmistelu monitorointia varten sekä datan hallintaan ja tarkkailuun tarkoitetut sovellukset ja laitteet. (Sohraby, Minoli & Znati 2007, 1.)

3.1 Tyypillinen sensoriverkko

Kuvio 1 esittää yksinkertaista langatonta sensoriverkkoa (WSN), jossa kuvataan datan keruuta junaradalta. Sensorilaitteet ovat kiinnitetty raiteeseen kohtaan, jota monitoroidaan. Sensorit kommunikoivat tukiaseman kanssa käyttäen tiettyä tiedonsiirtoprotokollaa, esimerkiksi Bluetoothia tai Wi-Fi -yhteyttä. Tukiasema kerää datan ja lähet-

tää sen eteenpäin palvelimelle. Joissain tapauksissa sensorit voivat toimittaa datapaketit suoraan palvelimelle ilman erillistä tukiasemaa, joka vastaanottaisi sensoreilta tulevan datan. (Hodge, O’Keefe, Weeks & Moulds 2015, 1.)



Kuvio 1. Sensoriverkko (Hodge, O’Keefe, Weeks & Moulds 2015, 1.)

3.1.1 Sensorit

Langattoman viestintäteknologian ja elektronisten laitteiden huima kehitys viime vuosina on mahdollistanut pienihintaiset ja vähän virtaa kuluttavat sensorilaitteet, jotka ovat kooltaan pieniä ja monitoimisia. Sensorilaitteet jotka mahdollistavat mitauksen, datan käsittelyn ja kommunikoinnin muiden laitteiden kanssa, ovat vaikuttaneet erilaisten langattomien sensoriverkkojen syntyyn. Erilaiset sensorit ovat helpottaneet ihmisten työskentelyä lisäämällä automaattista monitorointia. Sensoreiden avulla voidaan tunnistaa mahdolliset viat erilaisissa laitteissa esimerkiksi teollisella sektorilla. (Hodge, O’Keefe, Weeks & Moulds 2015, 1.)

Sensorit sisältävät neljä komponenttia: anturin, joka muuntaa tapahtuman tai ilmiön sähköiseksi signaaliksi, pienikokoisen tietokoneen, joka käsittelee ja varastoi saadun signaalin, lähettimen, joka toimittaa varastoidun datan eteenpäin esimerkiksi palvelimelle tai tukiasemalle ja virtalähteen, joka antaa sensorille tarvittavan virran. Sensorit voivat hoitaa tiedonsiirron langattomasti tai langallisesti. Langattomissa sensoreissa virtalähteenä toimii yleensä patteri. (Rouse 2011.)

Isommassa mittakaavassa puhuttaessa sensoreista voidaan nostaa esiin erilaiset älykkäät mittarit, joita käytetään esimerkiksi teollisuudessa ja energian mittaamisessa kotitalouksissa. Aikaisemmin tavalliset sähkömittarit mittasivat ainoastaan kokonaiskulutuksen, mutta älykkäiden mittareiden avulla sähköyhtiöt voivat selvittää tarkemmin ajankohdan, jolloin energiaa on kulutettu eniten ja kuinka paljon energiaa yksilöity käyttäjä kuluttaa. (Rouse 2011.) Älykkäät mittarit toimivat osana älykästä verkkoa (Smart grid), jota käsitellään myöhemmin.

3.1.2 Tiedonsiirtomenetelmät ja kommunikointi

Sensoriverkossa jokaisella sensorilla on valmius lähettää ja vastaanottaa dataa. Tiedonsiirrossa ja kommunikoinnissa käytetään OSI-mallia, joka on eri tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmä. (Akyildiz, Su*, Sankarasubramaniam & Cayirci 2002, 404.)

OSI-mallissa on viisi kerrosta, joita sensoriverkko tarvitsee toimiakseen ja jotta tiedonsiirto tapahtuu tehokkaasti (Agarwal 2016). Agarwal (2016) määrittelee OSI-mallin viisi kerrosta seuraavasti:

Sovelluskerros

Sovelluskerros pitää sisällään sovelluksia ja ohjelmistoja, joiden kautta saatua dataa voidaan hallita ja analysoida. Sensoriverkkojen hallintaan on kehitetty lukuisia ohjelmistoja eri tarkoituksiin ja eri aloille. Esimerkkinä ympäristön tutkimiseen tarkoitettut sovellukset.

Kuljetuskerros

Kuljetuskerroksen tehtävä on ylläpitää ja kuljettaa dataa luotettavasti eteenpäin. Kerros sisältää erilaisia tiedonsiirtoprotokollia, jotka määrittelevät kuinka datapaketteja kuljetetaan. Kuljetuskerrosta tarvitaan erityisesti suunniteltaessa yhteydenottoa muihin verkkoihin.

Verkkokerros

Verkkokerros hoitaa datan reitityksen. Kerroksessa toimiva protokolla määrittelee oikean ja luotettavan polun laitteiden välille.

Siirtoyhteyskerros

Siirtoyhteyskerroksen tehtävänä on luotettavan tiedonsiirron mahdollistaminen fyysisen kerroksen kautta. Kerroksessa toimiva protokolla hoitaa myös signaalien ja datan pilkkomisen yksinkertaisempaan muotoon ja virheiden hallinnan.

Fyysinen kerros

Fyysinen kerros on vastuussa signaalien vastaanottamisesta, muuntamisesta ja datan muokkaamisesta luettavampaan muotoon. Kerroksessa toimiva protokolla hoitaa myös datan salauksen.

OSI-malliin kuuluu lisäksi kolme tasoa, joita ovat virranhallinta, yhteydenhallinta ja tehtävienhallinta. Näillä kolmella tasolla on suuri merkitys, jotta sensorit voivat toimia keskenään energiatehokkaasti, reitittää dataa sekä jakaa vaadittavia resursseja keskenään. Ilman näitä tasoja sensorit toimivat vain yksilöinä. Tällöin sensoriverkko ei toimi tehokkaasti. (Akyildiz, Su*, Sankarasubramaniam & Cayirci 2002, 13.)

Virranhallinta

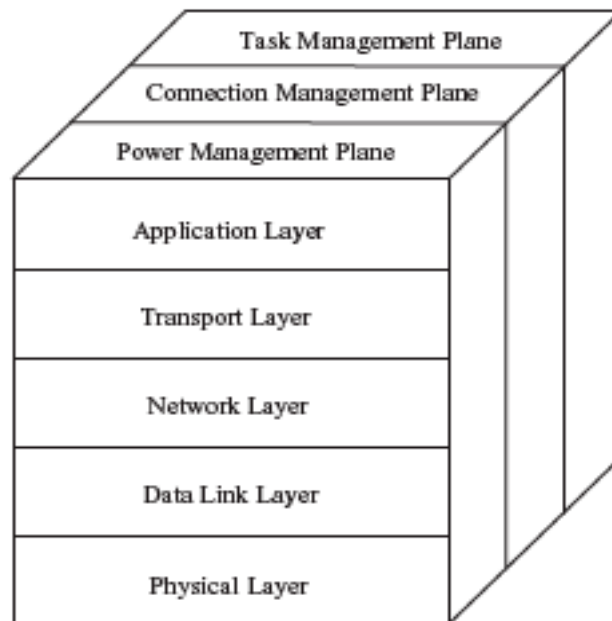
Virranhallinta määrittelee sensorin virrankäytön. Sensori voi esimerkiksi katkaista virran vastaanottimestaan, kun on vastaanottanut datan viereiseltä sensorilta. Tällä voidaan estää saman datan vastaanottamista kahteen kertaan eli duplikaattien syntymistä. (Akyildiz, Su*, Sankarasubramaniam & Cayirci 2002, 13.)

Yhteydenhallinta

Yhteydenhallinta havaitsee ja rekisteröi sensoreiden liikkeitä, joten sensoreiden, sekä hallinta- ja analysointilaitteiden välinen reitti on aina selvillä. Sensorit pystyvät yhteydenhallinnan avulla selvittämään, mitkä ovat kyseessä olevan sensorin viereiset sensorit. Tunnistaessaan viereiset sensorit, voi sensori hallita virrankulutustaan sekä tehtävänsä. (Akyildiz, Su*, Sankarasubramaniam & Cayirci 2002, 13.)

Tehtävienhallinta

Tehtävienhallinta hallinnoi ja aikatauluttaa sensorin tehtäviä. Aina ei ole tarpeellista sensorin toimittaa mittauksia. Toiset sensorit voivat antaa tärkeämpää dataa riippuen sensorin tehtävästä ja sijainnista. Kuvio 2 esittää langattoman verkon OSI-mallia. (Akyildiz, Su*, Sankarasubramaniam & Cayirci 2002, 13.)



Kuvio 2. Langattoman sensoriverkon OSI-malli (Akyildiz, Su*, Sankarasubramaniam & Cayirci 2002, 13.)

3.1.3 Tiedon kerääminen ja valmistelu

Sensoriverkkoon kuuluu erilaisia tukiasemia, jotka keräävät sensoreilta saadun datan ja lähettävät ne internettiin palvelimille monitorointityökaluja varten. Tukiasemat keräävät sensoreilta saadun tiedon ja toimivat porttina sensoreiden, monitorointityökalujen ja ohjelmistojen välissä lähettäen datan palvelimille. Tiedonsiirto tapahtuu myös käänteisesti, jolloin ohjelmistoista voidaan lähettää käskyjä sensoreille. Tästä johtuen tukiasemat vaativat paljon enemmän tehoa ja virrankulutus on paljon suurempaa kuin pienillä sensoreilla. (Hodge, O'Keefe, Weeks & Moulds 2015, 4.)

3.1.4 Sovellusalueet

Sensoriverkon sovellusalueita on monia. Sensoriverkkoja hyödynnetään kaikenlaisessa teollisessa toiminnasta, mutta myös tavallisten ihmisten elämässä. Lähes kaikki sovellukset liittyvät jonkin fyysisen ilmiön tarkkailuun. Tällaisia ilmiöitä ovat muun muassa lämpötila, ilmanpaine, säteily, kemialliset reaktiot ja liike. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.1.)

Ympäristön tarkkailu

Sensoriverkkoja voidaan käyttää tehokkaasti ympäristön tarkkailussa. Sensorit tarkkailevat ympäristöä ja mitattavia muuttujia. Esimerkkinä tällaisista sovelluksista ovat eläinten liikkeeseen ja tutkimiseen tarkoitettut sovellukset, ilman tai veden laatuun tarkoitettut sovellukset ja erilaisten luonnonkatastrofien, kuten maanjäristysten tarkkailuun tarkoitettut sovellukset. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.3.)

Terveydenhuolto

Terveydenhuollossa sensoriverkkoja voidaan käyttää potilaiden tutkimiseen. Sensoreita voidaan asentaa potilaiden kotiin, jotta potilaiden käyttäytymistä ja liikkumista voitaisiin tarkkailla. Sensoriverkot mahdollistavat myös erilaisten hälytysjärjestelmien kehittämisen hätätilanteita tai tapaturmia varten. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.3.)

Teollisuus

Teollisuudessa sensoriverkoilla ja niihin liittyvillä sovelluksilla on monia käyttökohteita. Sensoreita voidaan hyödyntää erilaisten tuotteiden valmistuksen monitoroinnissa ja tuotannossa sekä muussa teollisuudessa käytettävien laitteiden tarkkailussa mahdollisten ongelmien ehkäisemiseksi. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.3.)

Älykodit

Älykkäiden laitteiden kehittyessä sensorit ja sensoriverkot ovat levinneet koteihin. Useat kodin laitteet ovat kytkettävissä verkkoon lisäten mukavuutta ja helppoutta arkipäivään. Älykkäitä laitteita voidaan hallita etänä kaukosäätimillä ja hallintalaitteilla. Älykkäät laitteet ovat mahdollistaneet myös sähkön ja veden etäluennan sekä kulutuksen monitoroinnin. Etäluenta ja monitorointi tuovat kustannussäästöjä ja säästävät aikaa. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.3.)

Turvallisuus ja sodankäynti

Sensoriverkot ja sensorit ovat mahdollistaneet erilaiset turvallisuuteen ja tarkkailuun liittyvät laitteet ja sovellukset kodeissa ja julkisissa rakennuksissa. Niiden avulla voidaan ehkäistä tunkeilijoiden pääsy koteihin ja rakennuksiin sekä tunnistaa mahdolli-

set uhkatilanteet, kuten terrori-iskut. Sovelluksia käytetään myös sodankäynnissä vihollisen tarkkailuun ja mahdollisten uhkien havaitsemiseen. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.3.)

Maatalous

Maataloudessa sensoriverkkoja voidaan hyödyntää erilaisissa kastelujärjestelmissä ja kasvihuoneiden hallinnassa sekä monitoroinnissa. Monitoroinnin ansiosta kasvihuoneen lämpötilaa voidaan tarkkailla reaaliajassa ja säätää lämpötilaa sovelluksen kautta, jos se on mahdollista. (Obaidat & Misra 2014, Chapter 3.3.)

3.2 Esineiden internet

Esineiden internetillä (Internet of Things, IoT) tarkoitetaan yleisesti älyn lisääntymistä fyysisiin laitteisiin ja niiden yhdistymistä verkkoon, joko paikalliseen tai internetiin. Älykkäät laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään verkossa sekä keräämään ja analysoimaan dataa. Tällaisten laitteiden tarkoituksena on saada luotua uusia kokemuksia ja mahdollisuuksia uuteen liiketoimintaan sekä parantaa ihmisten elämää. Tärkein ajatus on, että laitteiden tuottama data hyödyttää ihmistä. (Mata 2015, 4-7.) Esimerkkinä IoT-laitteesta on aktiivisuusranneke, jossa sensorit mittaavat ihmisen aktiivisuutta ja voivat lähettää tietoa esimerkiksi puhelimeen. Näin IoT:a voidaan kutsua sensoriverkoksi, koska se täyttää aikaisemmin esitellyn sensoriverkon piirteet.

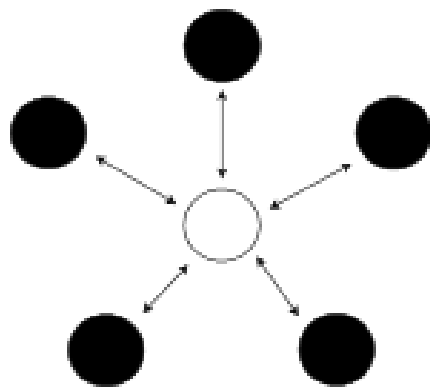
Älykkäät laitteet pitävät sisällään neljä toiminnallisuutta: aistiminen, datan kerääminen, liitettävyys toisiin laitteisiin ja datankäsittely. Laite kerää tietoa ympäristöstä ja lähettää tiedon toiselle laitteelle tai jonnekin muualle analysoitavaksi. (Mata 2015, 5.)

3.3 Verkon rakenne eli topologia

Verkon topologialla tarkoitetaan verkon laitteiden järjestystä. Järjestys voi olla fyysiseen sijaintiin tai signaaleihin ja kommunikointijärjestykseen perustuva. (Rouse 2016.) Langattomissa sensoriverkoissa tarkoitetaan yleisemmin kommunikointiin perustuvaa järjestystä.

3.3.1 Tähtiverkko

Tähtitopologialla tarkoitetaan verkon rakennetta, jossa kaikki verkon noodit ovat yhteydessä suoraan tukiasemaan. Rakenne ei salli noodien välistä kommunikointia. Tällaisen rakenteen hyötyjä ovat verkon yksinkertaisuus ja noodien virrankulutuksen alaisuus. Tällaisessa rakenteessa viive kommunikoinnissa pysyy alhaisena noodin ja tukiaseman suoran yhteyden vuoksi. Noodin ja tukiaseman täytyy kuitenkin olla toistensa kuuluvuusalueella. Alla kuvio tähtiverkon rakenteesta. (Wilson 2005, 577.)



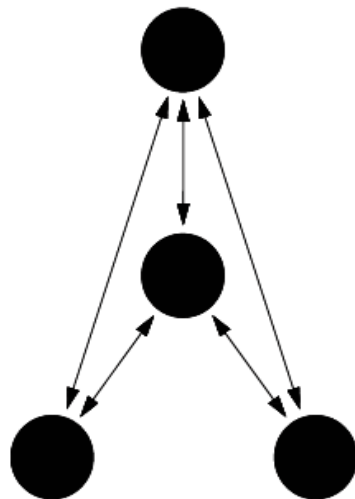
Kuvio 3. Tähtitopologia (Wilson 2005, 578.)

Tähtitopologialla on kuitenkin haittapuolia johtuen sen yksinkertaisuudesta erityisesti sensoriverkossa, jossa sensoreita on paljon ja sensoreiden etäisyys tukiasemasta on suuri. Tukiaseman ja sensorin suuri etäisyys vaikuttaa kommunikaation laadun heikkenemiseen ja näin hidastaa tiedonsiirtoa. Tähtitopologia sensoriverkon rakenteena toimii hyvin verkossa, jossa sensoreita on vähän ja etäisyydet ovat pienet. (Kaur & Garg 2012, 3.)

3.3.2 Mesh-verkko

Mesh-verkossa kaikki verkon itsenäiset laitteet voivat kommunikoida keskenään, jos ne ovat toistensa kuuluvuusalueella. Rakenne mahdollistaa sensorin kommunikoinnin tukiaseman tai toisen sensorin kanssa, vaikka ne eivät olisikaan toistensa kuuluvuus alueella. Tällöin kommunikointi tapahtuu hyväksikäyttäen toista sensoria, joka sijaitsee kuuluvuusalueella. Tällaista tapaa kutsutaan multi-hop-ominaisuudeksi. Ominaisuus on hyvä, koska sensorit eivät tällöin ole riippuvaisia toisistaan ja yhden sensorin rikkoontuminen tai kommunikaation häviäminen ei vaikuta muiden senso-

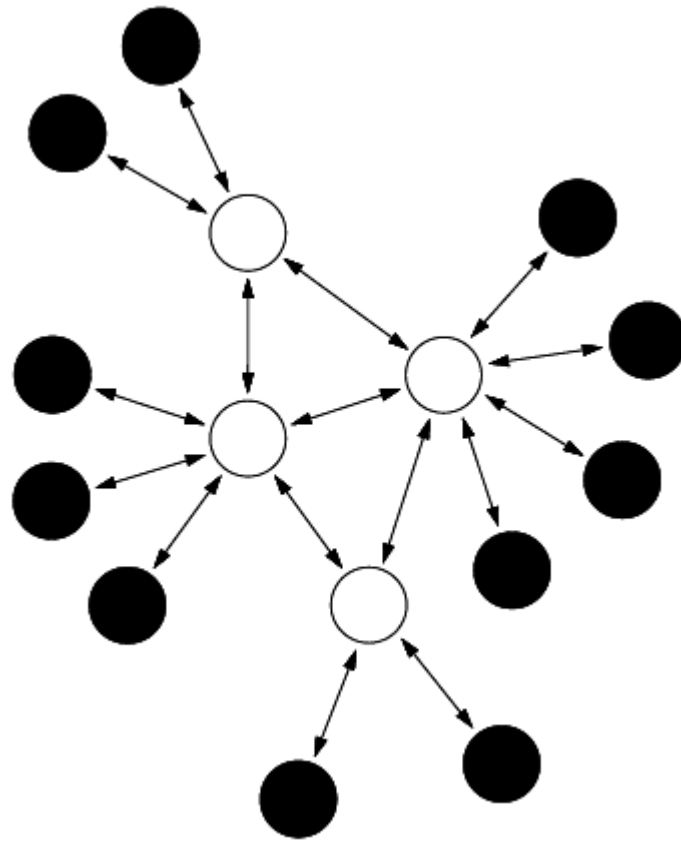
reiden toimintaan kuin ainoastaan tapauksessa, jossa toimivan sensorin kuuluvuus-alueella ei ole muita kuin rikkiöntunut sensori. Mesh-verkko on skaalautuvuudeltaan hyvä multi-hop-ominaisuuden vuoksi ja mahdollistaa suurien sensoriverkkojen kehittämisen. Tällaisessa rakenteessa huonoja puolia ovat sensoreiden virrankulutus, jos monen sensorin data kulkee saman sensorin kautta sekä mahdollinen viive tiedonsiirrossa, jos verkko on kooltaan suuri. Alla on kuvio yksinkertaisesta mesh-verkosta. (Wilson 2005, 578.)



Kuvio 4. Mesh-verkon topologia (Wilson 2005, 579.)

3.3.3 Hybridiverkko

Hybridiverkko on tähtiverkon ja mesh-verkon yhdistelmä. Se tarjoaa kestävä ja monipuolisen verkon. Päänoodit voivat kommunikoida keskenään, mutta päänoodeilla on alempitason noodeja, jotka voivat kommunikoida vain päänoodin kanssa. Tällöin päänoodit voivat käyttää multi-hop tekniikkaa tiedonsiirrossa, mutta alemman tason vähemmän virtaa kuluttavat noodit ovat suoraan yhteydessä vain korkeamman tason noodiin. Multi-hop-ominaisuus vaatii enemmän virtaa, joten suuressa sensoriverkossa on toivottavaa, että multi-hop-ominaisuuden omaavat sensorit olisivat kytettyinä esimerkiksi kiinteään sähköverkkoon. Alla on kuvio yksinkertaisesta hybridiverkosta. (Wilson 2005, 579.)



Kuvio 5. Hybridiverkon topologia (Wilson 2005, 580.)

3.4 Älykäs sähköverkko

Nykypäivänä tekniikan kehittyessä ja sähkönkulutuksen kasvaessa eivät vanhat sähköverkot enää täytä nykypäivän ja tulevaisuuden tarpeita. Sähköverkolta vaaditaan tehokkuutta ja luotettavuutta, kustannustehokkuutta ja mukautumista uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämiseen sekä turvallista sähkönsiirtoa, joka ei ole haavoittuvainen ja altis luonnonkatastrofeille tai hyökkäyksille. Tarpeiden täyttämiseksi on kehittynyt teknologioita, joiden avulla nykypäivän sähköverkon vaatimuksiin voidaan vastata. (Xiao 2012, Chapter 1.)

Älykkäällä sähköverkolla (Smart Grid) tarkoitetaan järjestelmäkokonaisuutta, joka pitää sisällään älykkäät laitteet, ohjelmistot ja niiden yhdistämisen sähkövoimateknologiaan. Älykkäiden laitteiden ansiosta voidaan yhdistää sähkön tuottajat ja kuluttajat toisiinsa sekä tarkkailla ja hallita energiavirran kulkua reaaliaikaisesti sähköverkossa sensoreiden avulla. (Ojala 2014, 15-16.)

IoT:n ja sähkövoimateknologian yhdistymisen myötä kehittyneet älykkäät sähköverkot ovat tuottaneet suurta hyötyä sekä kuluttajalle että sähkön tuottajalle. Xiaon (2012) mukaan olemme riippuvaisempia energiasta kuin koskaan aiemmin, joten sähkönsiirron ja kommunikoinnin täytyy olla tehokasta ja luotettavaa. Älykkäässä sähköverkossa sähkönkulutusta voidaan monitoroida reaaliajassa ja sen avulla ennustaa sekä ehkäistä mahdolliset laitteistoviat. Älykäs verkko voi myös yrittää korjata itsensä mahdollisen vian syntyessä.

Älykäs verkko ei liity pelkästään sähköverkkoon vaan sillä on monia osa-alueita. Älykäs verkko voidaan hyödyntää esimerkiksi vesiverkoston monitoroinnissa ja hallinnassa sekä logistiikassa. (Wireless Sensor Networks project team n.d.)

4 Käyttöliittymäsuunnittelu

Tässä luvussa käydään läpi, mikä on käyttöliittymä, käyttöliittymätyypit ja mitä hyvä käyttöliittymä pitää sisällään. Luvussa tutustutaan käytettävyyden määritelmiin ja käytettävyyden merkitykseen käyttöliittymäsuunnittelussa.

Yleisesti hyvänä pohjana käyttöliittymäsuunnitteluun käytetään Jakob Nielsenin teoriaa, jossa Nielsen kertoo, kuinka toteutetaan hyvä ja käyttäjäystävällinen käyttöliittymä ja mitkä ovat tärkeimmät asiat, joita täytyy suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon. Nielsen on kirjoittanut lukuisia kirjoja käytettävyydestä ja käyttöliittymäsuunnittelusta.

4.1 Mikä on käyttöliittymä?

Yleisesti käyttöliittymää ajatellessa mieleen tulee kuva tietokoneen tai muun laitteen näytöstä. Täytyy kuitenkin muistaa, että käyttöliittymä on muutakin kuin pelkkä näytössä näkyvä kuva. Käyttöliittymällä (User Interface) tarkoitetaan kaikkia tekniseen laitteeseen suunniteltuja välineitä, joilla ihminen pystyy kommunikoimaan laitteen kanssa. Näitä välineitä ovat näyttö, näppäimistö, hiiri, kosketuskynä, työpöydän ulkoasu, graafiset elementit ja ohjelmiston tai www-sivun vuorovaikutus käyttäjän kanssa, kuten erilaiset viestit ja niihin vastaaminen. (Rouse 2005.)

Tietokoneet ja kommunikointi niiden kanssa ovat kehittyneet valtavasti aikojen kuluessa. Ensimmäisiä tietokoneita ohjattiin pahvisilla reikäkorteilla. Koneet ohjelmoitiin käyttämällä erilaisia kytkentälaattoja ja ne pystyivät suorittamaan vain yhden tehtävän kerrallaan. Reikäkorttien käyttö aloitettiin 1900-luvun taitteessa, jolloin puhuttiin automaattisesta tietojenkäsittelystä. Kuitenkin vasta 1940-luvulla rakennettiin ensimmäiset elektroniset tietokoneet. (Nurmi 2000.)

1960-luvulla nykyaikaisemmat tietokoneet syrjäyttivät reikäkorttikoneet. Käyttöliittymä perustui komentokehoteeseen, jonka kautta pystyttiin antamaan suoraan monimutkaisia syötteitä. Ongelmaksi osoittautui kuitenkin monimutkaisten komentojen hallinta ja useiden syötteiden muistaminen. Ammattikäyttäjälle tämä oli kuitenkin suuri edistys johtuen käytön nopeudesta ja tehokkuudesta. Vielä nykypäivänäkin monet suosivat komentokehotetta. (Nurmi 2000.)

Komentojen paljoudesta johtuen 1970-luvun lopulla keksittiin idea komentojen jakamisesta hierarkkisiin listoihin, jolloin käyttäjä pystyi valitsemaan listalta haluamansa komennon käyttämällä valintanumeroa. Käyttö oli silti hidasta, mutta vähensi muistettavien komentojen määrää. Aluksi painettua toimintoa ei voinut peruuttaa, joten kone kysyi käyttäjältä varmistuksen. Tämä hidasti käyttöä entisestään. (Nurmi 2000.)

Graafisen käyttöliittymän keksimiseen johtavista tekijöistä ikkunat, sekä niiden käsittely ja manipulointi olivat suuressa roolissa. Ideaa kehiteltiin jo 1960-luvun lopulla ja sitä jatkettiin yhä eteenpäin. Vuonna 1973 kehitettiin ensimmäinen Xerox Alto, jossa yhdistyivät hiiri, bit-mapped-näyttö ja graafiset ikkunat. (Nurmi 2000.)

Lopulta vuonna 1981 ilmestyi Xerox Star, jota pidetään ensimmäisenä graafisen käyttöliittymän omaavana tietokoneena. Se sisälsi ikkunoita ja kuvakkeita, sekä niiden ohjausta hiiren avulla. Vuonna 1984 graafiset käyttöliittymät nousivat lopulliseen suosioon Macintoshin myötä. (Nurmi 2000.)

4.2 Käyttöliittymäsuunnittelun periaatteet

Nykypäivänä internetissä selaaminen on tehty niin helpoksi, että sivuston käytettävyyks on noussut entistä tärkeämpään rooliin. Käyttäjät ovat entistä kärsimättömämpiä ja jos he eivät opi käyttämään sivustoa heti, on käyttäjän helppo siirtyä toiselle

sivustolle yhdellä napin painaluksella. Näin onkin tärkeää, että käyttöliittymä palvelee käyttäjää ongelman ratkaisussa, eikä esittelemällä turhia visuaalisia elementtejä ja kaunista grafiikkaa. (Nielsen 2000, 10-11.)

4.2.1 Käytettävyys

Kun alkujaan tavalliset kuluttajat alkoivat kohdata ongelmia käytettävyyden kanssa, alettiin käyttää termiä käyttäjäystävällinen käyttöliittymä. Pian kuitenkin todettiin, ettei termi ole tarkoituksenmukainen ja alettiin puhua ihmisen ja koneen välisestä vuorovaikutuksesta, sekä käyttäjäkeskeisyydestä. (Nielsen 1993, 23.)

Nielsen (1993, 26) kertoo, että käytettävyys ei ole vain yksittäinen ominaisuus käyttöliittymässä, vaan käytettävyydessä on useampia komponentteja, jotka auttavat käytettävyyden mittaamisessa. Komponentit ovat perinteisesti jaettu seuraaviin viiteen pääkohtaan:

- opittavuus
- tehokkuus
- muistettavuus
- virheettömyys
- miellyttävyys.

Opittavuus

Käyttöliittymän tai ohjelmiston täytyy olla helposti opittavissa, jotta käyttäjä voi välittömästi aloittaa tuotteen tehokkaan käytön. Ensimmäinen käyttökerta kertoo, kuinka nopeasti käyttäjä oppii järjestelmän. Opittavuus on ehkä tärkein käytettävyyden attribuutti ja helpoin tutkittaessa käytettävyyttä. Mitattaessa voidaan tutkia ajankäyttöä, joka kuluu tarvittavan työtehon saavuttamiseen. (Nielsen 1993, 27-29.)

Tehokkuus

Käyttäjän opittua järjestelmän käytön ja toiminnot, pystyy hän käyttämään järjestelmää nopeasti ja tehokkaasti tehtäviensä suorittamiseen. Tehokkuutta voidaan mitata

käyttäen aikaa mittarina, esimerkiksi kuinka paljon aikaa kuluu jonkin prosessin suorittamiseen tietyn oppimistason saavuttaneella käyttäjällä verrattuna kokeneeseen käyttäjään. (Nielsen 1993, 30-31.)

Muistettavuus

Järjestelmän toimintojen täytyy olla helposti muistettavissa. Tällä tarkoitetaan sitä, että käyttäjän on helppo käyttää järjestelmää uudelleen ilman opettelua, vaikkei olikaan käyttänyt sitä hetkeen. Esimerkkinä käyttäjä, joka on ollut lomalla tai jostain muusta syystä lopettanut ohjelmiston käytön.

Nielsen (1993, 31) jakaa käyttäjät satunnaisiin käyttäjiin, kokeneisiin käyttäjiin ja uusiin käyttäjiin. Nimensä mukaisesti satunnaiskäyttäjä on jo aikaisemmin käyttänyt ohjelmistoa, mutta käyttö ei ole toistuvaa, kokenut käyttäjä useasti ja toistuvasti, kun taas uusi käyttäjä ei ole käyttänyt ohjelmistoa koskaan aikaisemmin.

Muistettavuutta ei mitata niin usein kuin muita käytettävyyden komponentteja. Jos muistettavuutta mitataan, niin se voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on tehdä käyttäjätesti satunnaiskäyttäjällä ja mitata tietyn prosessin suorittamiseen kulunut aika. Vaihtoehtoinen tapa on tehdä muistitesti, jossa käyttäjää pyydetään selittämään järjestelmän toimintoja. (Nielsen 1993, 31.)

Virheettömyys

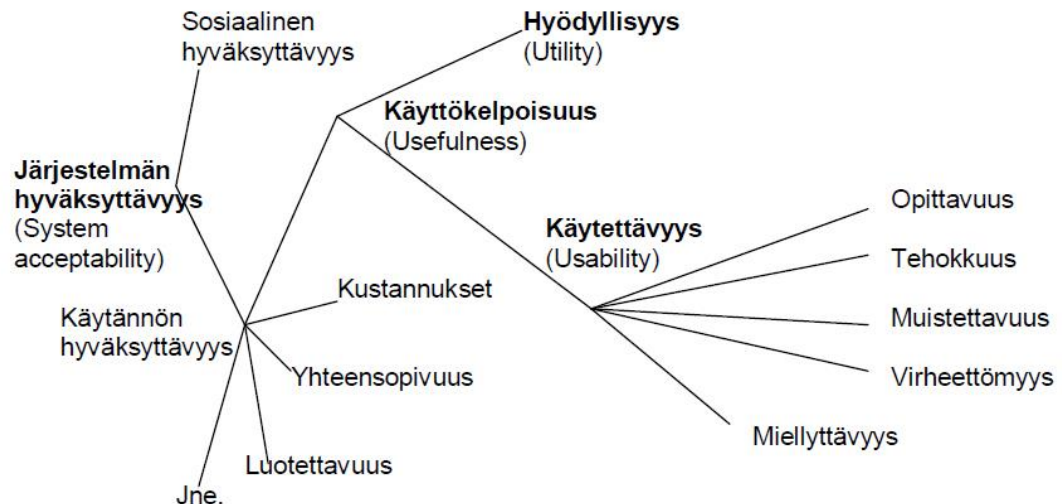
Käyttäjän ei pitäisi tehdä virheitä käyttäessään tuotetta. Virheiksi voidaan tulkita kaikki toiminnot, jotka johtavat ei haluttuun lopputulokseen. Käyttäjän täytyy pystyä tekemään tarvittavat toiminnot. Virheettömyyttä voidaan mitata laskemalla kaikki virheet, joita käyttäjä tekee suorittaessaan tiettyä tehtävää. Virheet voidaan jaotella lieviin tai vakaviin virheisiin. Lievät virheet eivät aiheuta käyttäjälle suuria ongelmia, ainoastaan hidastavat työskentelyä. Vakavat virheet voivat aiheuttaa esimerkiksi tietojen katoamisen. Virheettömyyttä voidaan mitata samaan aikaan mitattaessa muita käytettävyyden komponentteja. (Nielsen 1993, 32.)

Miellyttävyyys

Miellyttävyydellä tarkoitetaan käyttäjän tyytyväisyyttä järjestelmään. Järjestelmän pitäisi olla mukava käytettävä ja käyttäjän tulee pitää tuotteesta. Tuotteen tulisi täyt-

tää kaikki käyttäjän tarpeet. Näin käyttäjä pysyy tyytyväisenä ja haluaa käyttää järjestelmää tai tuotetta uudelleen. Miellyttävyyttä voidaan mitata kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa perustuu ihmisen psykofysiologiseen käyttäytymiseen, kuten sydämen sykkeeseen, verenpaineeseen, stressitasoon tai muutoksiin aivosähkökäyrässä. Tällaisten muutosten mittaaminen on kuitenkin hankalaa, eikä välttämättä anna oikeaa tulosta johtuen huonosta testiympäristöstä. Toinen ja yksinkertaisempi vaihtoehto miellyttävyyden mittaamiseen on kysyä testikäyttäjältä mitä mieltä hän oli käyttöliittymästä. (Nielsen 1993, 33-34.)

Käytettävyys ei kuitenkaan ole ainoa järjestelmän hyväksyttävyyden ja toimivuuden mittari. Se on osa suurempaa kokonaisuutta, jota kutsutaan järjestelmän hyväksyttävyydeksi (kuvio 6). Järjestelmän hyväksyttävyys jaetaan sosiaaliseen hyväksyttävyyteen ja käytännön hyväksyttävyyteen. Sosiaalisella hyväksyttävyydellä tarkoitetaan järjestelmän yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä: esimerkiksi järjestelmä, joka kerää tietoja ihmisistä ja heidän käyttäytymisestään ilman lupaa, ei todennäköisesti saisi laajaa hyväksyntää. Käytännön hyväksyttävyys sisältää useampia tekijöitä, kuten järjestelmän kustannukset, yhteensopivuus muiden järjestelmien kanssa, luotettavuus ja käyttökelpoisuus. Käyttökelpoisuus koostuu hyödyllisyydestä ja käytettävyydestä. Hyödyllisyydellä tarkoitetaan järjestelmän tarkoituksenmukaista toimintaa, eli palveleeko järjestelmä käyttäjää tarkoituksenmukaisesti. Käytettävyydellä tarkoitetaan järjestelmän käyttämisen helppoutta, jota pystytään mittaamaan aikaisemmin mainituilla käytettävyyden komponenteilla. Kuvio 6 esittää järjestelmän hyväksyttävyyden mittarit. (Nielsen 1993, 24-25.)



Kuvio 6. Järjestelmän hyväksyttävyys (Nielsen 1993, 25.)

Käytettävyys on määritelty myös ISO 9241-11 standardissa. Jokelan (2010) mukaan standardi määrittelee käytettävyyden mittana, joka kertoo kuinka käyttäjät pystyvät käyttämään tuotetta saavuttaakseen määritellyt tavoitteet tuloksellisesti, tehokkaasti ja miellyttävästi. Standardi siis pyrkii luomaan käytettävyydelle mitattavissa olevat ominaisuudet, joiden perusteella järjestelmää arvioidaan käytettävyyšnäkökulmasta kehityksen ja tuotannon aikana. Standardissa lähtökohtana on kolme kysymystä, joiden tarkasteluun käytettävyys perustuu:

- Käyttäjät?
- Käyttäjien tavoitteet?
- Tuotteen käyttöympäristö?

Kun lähtökohdat on määritelty, käytetään standardissa määriteltyjä attribuutteja käytettävyyden mittaamiseen. ISO 9241-11 standardin määritelmässä attribuutit käytettävyyden mittaamiseen ovat:

Tuloksellisuus

Tuloksellisuudella tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin käyttäjä pääsee määriteltyihin tavoitteisiin. Onnistuuko hän tekemään sen, mitä oli aikonut. Tuloksellisuutta pidetään tärkeimpänä attribuuttina, koska tuotetta ei ole järkevää käyttää ilman pääsyä oikeaan lopputulokseen. (Jokela 2010, 18.)

Tehokkuus

Tehokkuudella tarkoitetaan sitä, kuinka nopeasti ja helposti käyttäjä pääsee tavoitteisiinsa käytössä oleviin resursseihin nähden. Yleisenä resurssina pidetään aikaa, jota on käytetty tavoitteeseen pääsemiseksi. Toinen mahdollinen resurssi voisi olla henkisten resurssien käyttö. (Jokela 2010, 18.)

Miellyttävyyys

Miellyttävyys mittaa käyttäjän suhtautumista tuotteen käyttöön. Kuinka miellyttävä kokemus tuotteen käyttö oli. Käyttäisikö käyttäjä tuotetta uudestaan. (Jokela 2010, 18.)

ISO 9241-11 määritelmää pidetään kuitenkin puutteellisena, johtuen määritelmän liiallisesta hyötyajattelusta. Se ei pidä sisällään kaikkia näkökulmia, esimerkiksi viihdesovelluksien käytettävyyden määrittelyssä se on puutteellinen, mutta toimii hyvin hyötysovelluksien käytettävyyden määrittelemisessä. (Jokela 2010, 19.)

4.2.2 Käytettävyyden arviointi

Käytettävyyden arvioinnilla ja testaamisella pyritään seuraaviin tavoitteisiin:

Suunnittelun parantaminen

Testaamisella ja arvioinnilla saadaan kerättyä materiaalia, jonka avulla voidaan tunnistaa ja korjata mahdolliset ongelmat tuotteissa ja niiden käytettävyydessä. Tuotteiden täytyy olla hyödyllisiä ja täyttää käyttäjien tarpeet sekä helppoja käyttää ja oppia. (Rubin & Chisnell 2008, 22.)

Käyttäjätyytyväisyyden lisääminen

Arviointi ja testaaminen auttavat mahdollisten suunnitteluvirheiden löytämisessä, jotka vaikuttavat negatiivisesti käyttäjätyytyväisyyteen. Käyttäjän ollessa tyytyväinen tuotteeseen onnistutaan luomaan positiivinen kuva yrityksestä. Näin syntyy myös ajatus yrityksestä, joka tuottaa laadukkaita ja helppokäyttöisiä tuotteita, oli kyseessä sitten mikä tahansa tuote. (Rubin & Chisnell 2008, 22.)

Tuottavuuden nostaminen

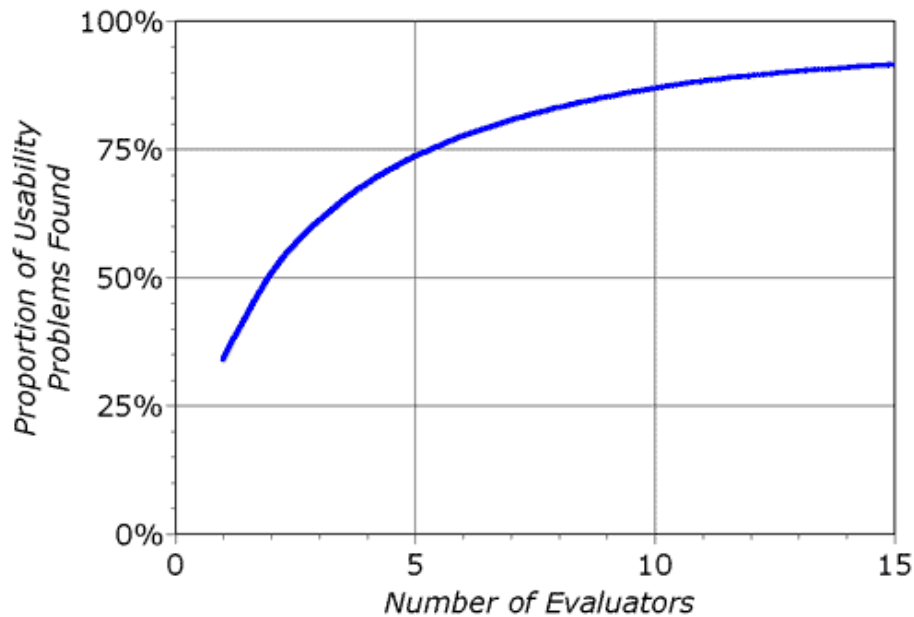
Testauksella saadaan materiaalia myös myöhempää käyttöä varten, jolloin samaa materiaalia pystytään hyödyntämään uusien ohjelmistojen kehittämisessä. Toimivalla tuotteella pystytään vähentämään tukipalveluihin käytettäviä resursseja, sekä ehkäistään julkaisuvaiheessa ilmeneviä käytettävyyssongelmia, jolloin tuote jouduttaisiin vetämään markkinoilta ongelmien vuoksi ja mahdollisesti suunnittelemaan uudelleen. (Rubin & Chisnell 2008, 22-23.)

4.2.3 Käytettävyyden arviointimenetelmät

Käytettävyyttä voidaan arvioida monella eri tavalla. Arviointimenetelmien moninaisuuden johdosta sopiva menetelmä voidaan löytää tilanteesta riippumatta. Menetelmän valintaan vaikuttaa arvioitava järjestelmä, raha ja aika resurssit, asiantuntijoiden saatavuus, käyttäjät ja järjestelmän käyttö. Arviointimenetelmiä ovat muun muassa heuristinen arviointi ja käyttäjätestaus. (Mediastudio n.d.) Menetelmiä on monia muitakin, mutta seuraavaksi tutustutaan edellä mainittuihin menetelmiin.

Heuristinen arviointi

Heuristisessa eli kokemukseen perustuvassa arvioinnissa pyritään löytämään mahdolliset ongelmat käytettävyydessä käyttämällä järjestelmää tai sovellusta ja kiinnittämällä huomiota sen käytössä ilmeneviin ongelmiin. Arvioinnissa käytettävyyssasiantuntijat tarkkailevat ja testaavat järjestelmän toimintaa apunaan lista, joka sisältää käytettävyyismääritelmiä eli heuristiikkoja. Heuristisen arvioinnin voi tehdä käyttäen yhtä arvioijaa, mutta on tehokkaampaa käyttää useampia arvioijia, koska tällöin mahdollisuus ongelmien löytämiseen on suurempi. (Nielsen 1993, 156.) Nielsenin mukaan yksi käytettävyyssasiantuntija löytää ainoastaan 35% käytettävyyssongelmista. Arvioitsijat löytävät erilaisia ongelmia, joten on tehokkaampaa käyttää useampia arvioitsijoita. Kuvio 7 esittää arvioijien määrän vaikutuksen ongelmien löytymiseen. Nielsenin esittämässä tutkimuksessa käsiteltiin kuutta eri projektia.



Kuvio 7. Arvioijien määrän vaikutus käytettävyyssongelmien löytymiseen heuristisessa arvioinnissa (Nielsen 1993, 156.)

Arviointi tehdään itsenäisesti ja on suositeltavaa suorittaa se useampaan kertaan. Ensimmäinen arviointikerta kannattaa tehdä ilman heuristiikkoja ja tutkia järjestelmää keskittymättä tiettyihin yksityiskohtiin, joita lista pitäisi sisällään. Toisella arviointikerralla keskitytään listalla oleviin yksityiskohtiin ja toistetaan arviointi useampaan kertaan. (Nielsen 1993, 155-159.)

Nielsen (1995) on määritellyt listan yleisistä käytettävyyssäännöistä, joita hyvä käyttäjä pitää sisällään. Tätä listaa voidaan käyttää pohjana heuristisessa arvioinnissa, mutta arvioinneissa voi olla myös muita tarkkaan valittuja yksityiskohtia, joihin pitää kiinnittää huomiota. Alla Nielsenin kymmenen heuristiikkaa.

1. Järjestelmän tilan näyttäminen: Sovelluksen tai järjestelmän tulisi antaa käyttäjälle sopivin väliajoin palautetta siitä, mitä on tapahtumassa.
2. Yhteensopivuus järjestelmän ja todellisen maailman välillä: Järjestelmän tulisi sisältää kieltä ja sanastoa, joka on tavallisen käyttäjän ymmärrettävissä. Sisältö tulisi esittää loogisessa järjestyksessä.
3. Käyttäjän hallinta ja liikkumisen vapaus: Käyttäjällä tulisi aina olla selkeä mahdollisuus päästä pois erilaisista tilanteista ja palata takaisin. Poistumistiet on merkitty selkeästi.
4. Yhdenmukaisuus: Samaa asiaa ei tulisi esittää monella eri tavalla, tulisi käyttää ohjeistuksia ja hyväksi todettujen sovellusten tapoja.

5. Virheiden ehkäisy: Käyttäjää pitäisi kaikin tavoin estää tekemästä virheitä.
6. Muistikuormituksen minimoiminen: Käyttäjän ei pidä olettaa muistavan kaikkea. Järjestelmän täytyy olla looginen ja ohjeistukset ovat helposti nähtävillä.
7. Joustavuus ja tehokkuus: Oikopolut tehokäyttäjille saattavat nopeuttaa järjestelmän käyttöä. Oikopolkujen ei tulisi kuitenkaan sekoittaa aloittelevaa käyttäjää.
8. Minimalistinen suunnittelu: Näytöllä esitellään vain oleellinen tieto. Turha aineisto sekoittaa käyttäjää ja kilpailee huomiosta oleellisen tiedon kanssa.
9. Käyttäjän auttaminen virhetilanteissa: Virheilmoitukset esitetään ymmärrettävästi, esitellään kuvaus ongelmasta ja mahdollinen korjausehdotus.
10. Ohjeistukset: Parhaimmassa tapauksessa järjestelmää pystytään käyttämään ilman ohjeistuksia ja dokumentaatioita, mutta on tarpeellista antaa käyttäjälle apua erilaisissa tilanteissa. Ohjeiden tulee olla helposti saatavilla ja selattavissa, sekä kohdistettavissa käyttäjän ongelmaan.

Käyttäjätesti

Käyttäjätesti on eniten käytetty käytettävyydenarviointimenetelmä. Testauksella saadaan suoraa informaatiota, kuinka oikea käyttäjä käyttää järjestelmää ja mitkä ovat ongelmat, joita hän kohtaa käyttäessään järjestelmää. (Nielsen 1993, 165.)

On useita tapoja suorittaa käyttäjätesti. Yleisin näistä on käyttäjän tarkkaileminen eli observointi. Testausta voidaan suorittaa muillakin tavoilla, esimerkiksi kyselyillä ja haastatteluilla.

Observoinnissa tarkkaillaan käyttäjää hänen suorittaessaan annettua tehtävää. Kokeet pidetään tilassa, joka on suunniteltu testausolosuhteisiin. Tarkoituksena on antaa testin tekijälle tuttu ja turvallinen ympäristö, joka muistuttaa työympäristöä. Tarkkailijat voivat kirjoittaa muistiinpanoja ja joissain tilanteissa jopa videoida testaustapahtuman. Tarkkailijan täytyy olla äänettömästi ja käytännössä näkymätön. Joskus voi olla tarpeellista keskeyttää käyttäjä, jos tarkkailija ei ymmärtänyt virhetilannetta. On kuitenkin parempi olla esittämättä kysymyksiä kesken testauksen ja kirjata omiinsa tapahtuma ylös, jos virhetilanne toistuisi ja tarkkailija ymmärtäisi tapahtuman myöhemmin. (Nielsen 1993, 207-208.)

Nielsen (1993) jakaa testin neljään vaiheeseen:

1. Valmistautuminen
2. Perehdytys
3. Testi
4. Raportointi

Valmistautuminen

Valmistautumisvaiheessa testin ohjaajan tulee varmistaa, että testausympäristö on kunnossa. Kaikki materiaalit ja ohjeistukset ovat saatavilla, sekä tietokone ja järjestelmä siinä tilassa kuin sen tulee testin aloitusvaiheessa olla. Testausympäristöön liittyvät olennaiset seikat määritellään testaussuunnitelmassa, joka on tehty suunniteltaessa käyttäjätestiä. Valmistautumisella pyritään siihen, että testi sujuisi ilman häiriöitä ja keskeytyksiä. Kaikki valmistautumisvaiheeseen liittyvät tarkistukset tehdään ennen testaajan saapumista. (Nielsen 1993, 187.)

Perehdytys

Perehdytysvaiheessa ohjaaja selvittää testin tarkoituksen testaajalle ja selittää, kuinka testi toteutetaan ja minkälaisia vaiheita siihen saattaa liittyä. Testaajalle voidaan myös antaa lista asioista joihin kannattaa kiinnittää huomiota. Ennen testin aloittamista on tärkeää taata testaajalle mukavat olosuhteet, jotta testi voidaan suorittaa vaivattomasti. Tällä tarkoitetaan huomion kiinnittämistä ergonomiaan, kuten istuma-asentoon ja hiiren sijoitukseen vasen- tai oikeakätiselle sopivaksi. (Nielsen 1993, 187-189.)

Testi

Testin aikana pyritään olemaan mahdollisimman vähän vuorovaikutuksessa testaajan kanssa. Ohjaaja ei saa esittää omia mielipiteitään testisuorituksesta, eikä näin ollen millään tavalla vaikuttaa testin kulkuun, kuten opastamalla testaajaa. Testaajaa voidaan kuitenkin auttaa tietyissä tilanteissa, kuten testaajan kohdatessa ongelman joka keskeyttää suorituksen. (Nielsen 1993, 190.)

Raportointi

Testin suorituksen jälkeen testaaja täyttää lomakkeen, jonka avulla selvitetään testaajan mielipide testistä. Lomake täytetään ennen arviointikeskustelua, jotta voidaan ehkäistä ohjaajan vaikutusta testaajan mielipiteeseen ja tyytyväisyyteen. Seuraavaksi käydään keskustelu, jossa testaaja antaa kommentteja järjestelmästä ja ehdotuksia sen kehittämiseksi. Keskustelun jälkeen ohjaaja tarkistaa, että testin aikana syntynyt materiaali on taltioitu. Lopuksi ohjaaja kirjoittaa raportin testistä, jossa ilmenee ohjaajan muistiinpanot ja huomioidut seikat testin kulusta. (Nielsen 1993, 191.)

4.3 Sensoriverkko karttapohjaisessa käyttöliittymässä

Erilaiset visualisointitavat, kuten kuvat ja grafiikka auttavat käyttäjää löytämään tärkeimmän ja oleellisimman informaation suuresta datamäärästä. Pelkkä tekstin ja lukujen analysointi on hidasta. Eräs hyvä tapa on visualisoida sensoriverkkoa ja siitä saatavaa dataa karttapohjalla. (McGrath, Scanail 2013, 106-109.)

Käyttöliittymiin integroitavia karttapalveluita ja ohjelmointirajapintoja on useita erilaisia. Seuraavassa on lueteltuna muutamia: Google Maps, Microsoft Bing Maps, OpenLayers, Foursquare, OpenStreetMap, MapQuest, Mapbox, CartoDB, Esri ArcGIS ja Yahoo BOSS Place Finder. (Wagner 2015.)

4.4 Karttakäyttöliittymän käytettävyys

Karttakäyttöliittymän suunnittelussa pätee samat lainalaisuudet kuin tavallisen käyttöliittymän. Ainoa ero on, että huomio keskittyy karttapohjaan ja siihen liittyviin toimintoihin. Suunnittelussa voidaan soveltaa aikaisemmin esiteltyä Nielsenin käytettävyysteoriaa sekä ISO-standardin määritelmiä.

4.4.1 Käytettävyystudkimus

Nivala, Brewster ja Sarjakoski toteuttivat vuonna 2007 käytettävyystudkimuksen, jossa arvioitiin www-sivujen karttakäyttöliittymien käytettävyyttä. Kohteena olivat Google Maps, MSN Maps & Directions, MapQuest and Multimap.com. Käyttöliittymät sisälsivät interaktiivisen kaksiulotteisen kartan, jossa toimintoina olivat näkymän zoomaus ja karttapohjan liikuttelu, sekä paikkahaku ja reittiohjeiden hankkiminen.

Tutkimuksen lähtökohtana oli skenaario, jossa turisti suunnittelee vierailuaan Lontoossa. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 3.)

Tutkimus toteutettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa arvioinnit tehtiin käyttäjätestinä käytettävyysslaboratoriossa, jossa jokainen käyttäjä teki ennalta määritellyn tehtävän kahdella eri karttakäyttöliittymällä. Testikäyttäjää oli kahdeksan kappaletta. Toinen osa tutkimuksesta koostui ammattilaisten arvioinneista. Osallisena olivat kahdeksan käytettävyyssasiantuntijaa ja kahdeksan kartoittajaa. Jokainen heistä keskittyi vain yhteen käyttöliittymään. Näin tutkimusotteeseen saatiin 24 eri testikäyttäjää ja arvioijaa, sekä 32 erilaista arviointia. Jokainen käyttöliittymä sai arviot neljältä testikäyttäjältä ja neljältä asiantuntijalta. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 3.)

Yleisimmät käytettävyysongelmat liittyivät käyttöliittymään, karttaan, ohjeisiin, osoitteisiin ja paikkahakuihin. Siitä johtuen, ongelmat jaettiin viiteen ryhmään: käyttöliittymä, kartta, kartan työkalut, hakutyökalut sekä apu ja neuvonta. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 3-4.)

Käyttöliittymä

Sivuston ensivaikutelma on tärkeä. Suuri ongelma oli käyttöliittymien etusivut, jotka olivat täytetty erilaisilla mainoksilla, linkeillä ja kuvilla. Tällainen sivu on sekava ja saattaa vaikeuttaa olennaisen sisällön löytymistä sivustolta. Tutkimukseen osallistuneet kertoivat, että heistä tuntui kuin sivustoilla olisi yritetty saada käyttäjän katse kiinnittymään mainoksiin ennemmin kuin auttamaan heitä paikkojen löytämisessä. Joitakin sivustoja arvosteltiin karttojen puutteesta, joita ei heti suoraan ollut näkyvillä etusivulla. Myöskään hakukentät eivät olleet järkevästi sijoitettuja ja ne saattoivat olla kooltaan pieniä. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 4.)

Kartta

Karttakäyttöliittymässä kartan pitäisi olla pääosassa sivustolla. Kuitenkin, joissain sivustoissa kartta oli kooltaan liian pieni verrattuna tilaan, jota käyttöliittymäpohjalla olisi ollut käytettävissä. Liian pieni kartta vaikeuttaa paikkojen löytämistä ja hahmotamista. Jotkin kartat saivat myös kritiikkiä ulkoasustaan, joka näytti enemmän paperikartalta kuin web-kartalta. Ulkoasu saattoi myös näyttää sekaiselta, sotkuiselta,

hämmentävältä ja rumalta. Värit olivat myös huonosti valittuja: tekstit eivät välttämättä kunnolla erottuneet taustasta, samanlaisia värejä käytettiin eri yhteyksissä, kuten sairaalat ja kauppakeskukset, joissain kartoissa moottoritiet olivat merkitty sinisellä värillä, joka voi viitata jokeen. Kartoissa saattoi olla myös liikaa tai liian vähän informaatiota. Esimerkkeinä katujen nimien puuttuminen tietyillä zoomaus-tasoilla. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 4-5.)

Kartan työkalut

Työkalujen kanssa oli paljon ongelmia. Painikkeille ei ollut selityksiä eikä ohjeita tai niitä ei vain löydetty. Jotkut käyttäjät eivät tajunneet voivansa hakea paikkoja suoraan kartalta. Kartan toiminnassa oli myös ongelmia. Jotkin painikkeet eivät toimineet, kun kartalla oli reitti esillä. Etäisyyksien arviointi koettiin hankalana. Jotkut testaajat eivät edes huomanneet, että kartalla oli viivoitin, jonka avulla pystyttiin arvioimaan etäisyyksiä. Etäisyyksien arviointia kritisoitiin liian epätarkaksi johtuen pienestä viivoittimesta. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 5-6.)

Hakutyökalut ja hakeminen

Hakutyökalut koettiin ongelmallisena. Vain yksi sivustoista tarjosi vapaan haku kentän, johon sai kirjoittaa vapaamuotoisesti. Muilla sivustoilla oli useampia hakukenttiä, joihin piti laittaa määritelty tietue, esimerkiksi paikkakunta. Molemmissa on hyvät ja huonot puolensa, yksittäinen kenttä toimii kuin hakukone, jota ihmiset ovat tottuneet käyttämään, kun taas useampi kenttä laittaa ihmiset kirjoittamaan tarkasti sijainnin, jonka he myös useimmin osaavat. Kaikki sivustot saivat kritiikkiä hakutyökaluista, koska ainoa keino osoitteiden tai reittien etsimisessä oli kirjoittaminen hakukenttään, eikä esimerkiksi lähtöpaikan ja päätepysäkin klikkaaminen kartalle. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 7.)

Yleisin käytettävyysongelma liittyi karttojen oletusasetuksiin. Kaikki tutkimukseen osallistuneet eivät huomanneet kartan oletusasetusten olevan niin, että vain Yhdysvalloissa sijaitsevat paikat haettiin. Toinen vaihtoehto oli, että käyttäjä ei osannut vaihtaa oletusasetusta. Asetus ehkäisi täysin onnistuneiden hakutulosten saamisen osalta testikäyttäjistä. Esimerkkinä tapaus, jossa käyttäjä kirjoittaa London Bridge, mutta hakutuloksia ei löydy. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 7-8.)

Välillä hakutulokset olivat outoja, eikä tulokseen löytynyt selitystä. Esimerkkinä ”zoo London”, ja hakutuloksena ”zoo toy-shop, Leeds”. Käyttäjän täytyi tarkasti tietää mitä oli hakemassa, koska haku antoi suuren määrän vääränlaisia tuloksia. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 8.)

Apu ja neuvonta

Virhetilanteet ovat väistämättömiä haettaessa paikkaa kartalta, koska sitä ei aina löydy tietokannoista. Tutkimuksessa todettiin, että aina ei ollut apua saatavilla. Jotkin virheviestit eivät näyttäneet viesteiltä, eikä käyttäjä välttämättä edes huomannut niitä. Joskus virheilmoitus oli selvästi huomattavissa, mutta siinä ei lukenut mitään informatiivista tietoa, joka olisi hyödyttänyt ongelman ratkaisemisessa tai tiedostamisessa. Joillakin sivustoilla oli esimerkkitapauksia, joilla käyttäjää autettiin haussa, mutta nekin saattoivat olla hämmentäviä tai eivät olleet edes mitä käyttäjä olisi tarvinnut. (Nivala, Brewster & Sarjakoski 2007, 10.)

4.4.2 Johtopäätökset

Nivalan, Brewsterin ja Sarjakosken tutkimuksen (2007) perusteella voidaan nostaa esiin niitä yksityiskohtia, joita käytettävyydeltään hyvän karttakäyttöliittymän täytyy pitää sisällään. Tutkimuksesta voidaan tunnistaa myös tiettyjä epäkohtia käytettävyydessä, joita Nielsen (1993) esittää.

Sivuston ulkoasun ja visuaalisen ilmeen täytyy olla yksinkertainen ja selkeä. Esillä on vain olennainen ja tärkeä asia, kuten karttakäyttöliittymän pohja ja siihen liittyvät työkalut. Koska kartta on suuressa roolissa, täytyy sen saada isosti tilaa näytöltä. Kartan väreillä on suuri merkitys. Värit auttavat kartan analysoimisessa, joten niiden täytyy selkeästi erottua toisistaan ja niiden merkitys täytyy olla selitettävissä käyttäjälle. Kartan tehtävä on auttaa visualisoimaan tapahtumia ja palvella käyttäjää tehtävissä, joihin se on tarkoitettu.

Nivalan, Brewsterin ja Sarjakosken tutkimus (2007) on toteutettu kymmenen vuotta ennen tämän opinnäytetyön tekoa, joten monet tutkimuksessa esiintyneistä ongelmista ovat korjattu sekä osa sivustoista on lopettanut toimintansa. Siitä huolimatta tutkimus on hyvä lähde, joka nostaa esiin mahdollisia käytettävyyso ongelmia, joihin kannattaa kiinnittää huomiota suunnitellessa karttapohjaista käyttöliittymää.

4.5 Menetelmät karttakäyttöliittymän käytettävyyden parantamiseen

Kartan ollessa keskipisteenä, tarvitaan erilaisia teknisiä ratkaisuja, jotta käytettävyyden määritelmät ja vaatimukset pystytään toteuttamaan, erityisesti esittäessä sensori-verkkoa, joka pitää sisällään suuren määrän dataa.

4.5.1 Paikkatietueiden esittäminen ja klusterointi

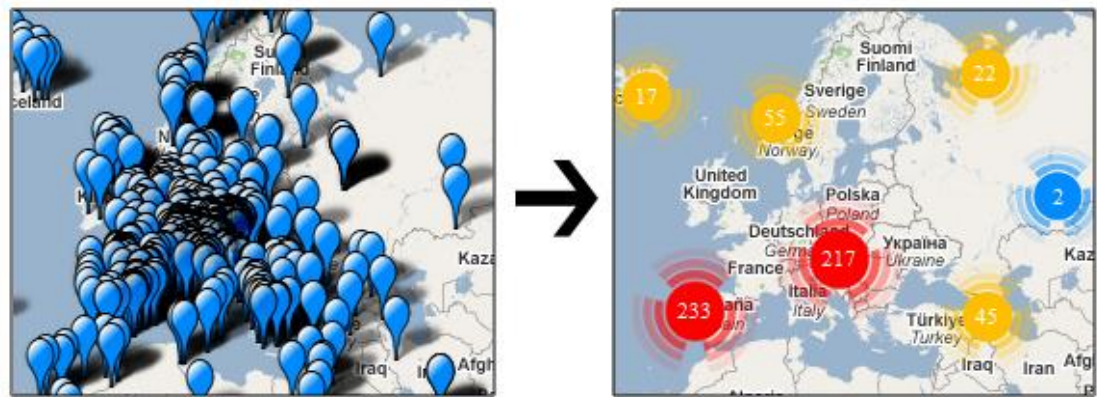
Paikkatietueiden suuresta määrästä johtuen, käyttöliittymän kehitysvaiheessa kohdataan ongelmia. Ongelmana on karttapohjan hidas toiminta. Suuren datamäärän lataaminen kestää ajallisesti kauan ja karttanäkymän liikuttelu on hidasta. Toinen ongelma on kartan visuaalinen ilme. Kartta näyttää sekavalta ja on vaikea tulkittava, kun erilaisia paikkatietueita on suuri määrä vierekkäin. Tämä aiheuttaa vakavia ongelmia käytettävyydessä ja siksi ongelmaan on kehitetty ratkaisuja. (Svennerberg 2010, 177.)

Kaikkia paikkatietueita ei tarvitse näyttää karttapohjalla. Käyttöliittymään voidaan tehdä erilaisia hakutoimintoja, joilla rajataan näytettävät tietueet. Hakutoimintona voi olla esimerkiksi tekstikenttä, joka hakee syötettä vastaavat tietueet. Esimerkkinä Starbucks-kahvilat. Tällöin muita tietueita ei näytetä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää erilaisia rajauskuvakkeita, joiden avulla näytetään vain määritellyt tietueet, kuten kahvilat. (Svennerberg 2010, 178-180.)

Sensoriverkoissa tällaisena hakutoimintona voisi olla esimerkiksi mittauslaitteen tyyppi, jolloin vain samanlaiset mittauslaitteet esitetään kartalla. Rajaus voi tapahtua tekstihaun kautta tai käyttäen rajauskuvakkeita.

Paikkatietueita voidaan esittää myös klusteroimalla. Tällöin lähekkäin olevat paikkatietueet ovat sijoitettu isomman kuvakkeen alle, joka esittää kuvakkeen alla olevat paikkatietueet numeroina. Kohdennettaessa lähemmäksi, klusterit pienenevät ja lopulta yksittäiset paikkatietueet tulevat esiin. Näin kaikkia paikkatietueita ei tarvitse esittää kartalla suoraan ja se parantaa kartan käytettävyyttä huomattavasti nopeuttaen toimintaa, sekä yksinkertaistaen datan esittämistä. (Svennerberg 2010, 181.)

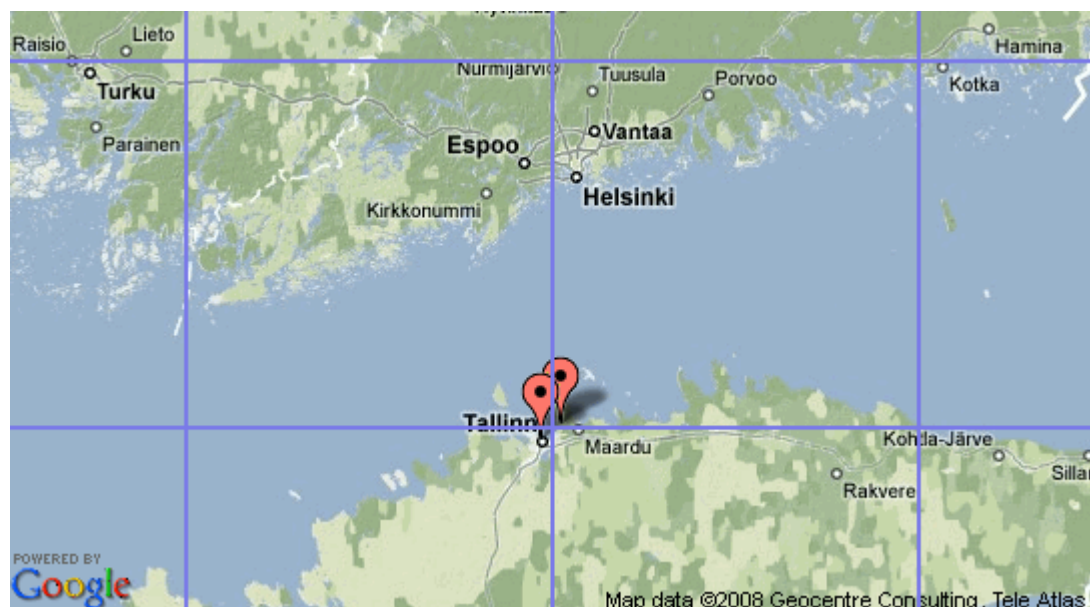
Kuvio 8 (Svennerberg 2009) havainnollistaa paikkatietueiden jakautumista klustereihin.



Kuvio 8. Paikkatietueiden jakautuminen klustereihin (Svennerberg 2009)

Klusterointi voidaan toteuttaa kolmella tavalla: ruudukkopohjainen klusterointi perustuu karttapohjan jakamiseen eri osiin eli ruutuihin. Tällöin samassa ruudussa olevat paikkatietueet jakautuvat saman klusterin alle. Ruudukkopohjaisessa klusteroinnissa ongelmana voi olla kahden vierekkäisen paikkatietueen jakautuminen eri klustereihin, jos paikkatietueet sattuvat olemaan eri ruuduissa. (Svennerberg 2010, 181.)

Kuvio 9 esittää edellä mainitun ongelman. Paikkatietueet eivät sijoitu klusteriin, koska ne sijaitsevat eri ruuduissa (Tuupola 2008).



Kuvio 9. Ruudukkopohjaisen klusteroinnin ongelma (Tuupola 2008)

Etäisyyteen perustuvassa klusteroinnissa tarkistetaan, onko paikkatietueen lähellä muita paikkatietueita. Jos on, niin vierekkäiset tietueet asetetaan saman klusterin alle. Tässäkin tavassa on ongelma, koska klustereita saattaa ilmestyä sattumanvaraisesti paikkoihin, joissa ne on muodostettu. Tämä saattaa hämätä käyttäjää.

Alueellinen klusterointi on vaativampi tekniikka kuin aikaisemmin mainitut. Siinä määritellään maantieteelliset alueet tai valtiot ja kaikki tietyn alueen tai valtion alueella sijaitsevat paikkatietueet sijoitetaan omaan klusteriinsa. Alueellisella klusteroinnilla pystytään luomaan järkevämpi ja käyttäjäystävällisempi esitystapa paikkatietueille, kuin ruudukkopohjaisella- tai etäisyyteen perustuvalla klusteroinnilla. (Svennerberg 2010, 182.)

4.5.2 Kerrokset

Karttapohjan päälle voidaan lisätä erilaisia kerroksia, joihin voidaan lisätä omia toimintoja tai informaatioita. Kerrokseen voidaan lisätä viivoja tai kuvioita visualisoimaan jotain tiettyä informaatiota. Kuvioilla voidaan korostaa haluttua aluetta. (Svennerberg 2010, 157.) Sensoriverkon visualisoinnissa viivat voivat kuvastaa laitteiden yhteyttä toisiinsa ja erilaisten kuvioden avulla voidaan korostaa maantieteellinen alue, jonka sisällä sensoriverkko sijaitsee. Kartan päälle voidaan lisätä myös omia kuvia (Google Maps APIs, Basic map types).

4.5.3 Karttatyypit

Google Maps- karttarajapinta tarjoaa neljä erilaista vaihtoehtoa käytettäväksi kartan ulkoasussa. Kaikista yleisin on tiekartta, jota Google käyttää myös omassa karttapalvelussaan oletuksena. Vaihtoehtoina ovat myös satelliittikartta, joka on sama kuin Google Earth-palvelussa nähtävä kartta, hybridikartta, joka on sekoitus normaalia tiekartta- ja satelliittikarttanäkymää sekä maastokartta, joka näyttää maaston muodot. (Google Maps APIs, Basic map types.)

Rajapinta tarjoaa myös mahdollisuuden käyttää omia kustomoituja karttatyylejä. Tällä tavoin voidaan muuttaa muun muassa kartan taustaväriä. (Google Maps APIs, Custom map types.) Tarjolla on myös paljon erilaisia kolmannen osapuolen tarjoamia kustomoituja karttatyylejä. Tällaisia ovat muun muassa Snazzy Maps ja MapStylr.

Karttatyypin valinta on olennainen osa karttakäyttöliittymän käytettävyyttä. Sillä voidaan joko parantaa käytettävyyttä ja selventää visualisointia tai vaihtoehtoisesti saada aikaan huono käyttäjäkokemus ja sekava karttakäyttöliittymä.

4.5.4 Erilaiset paikkatietue-markerit

Karttakäyttöliittymään voidaan saada selkeyttä esittämällä erityyppisiä tietueita erilaisin merkein, kuten esimerkiksi erilaisella värityksellä ja kuvioilla. Erilaiset markerit voivat antaa lisäinformaatiota visuaalisin keinoin ja näin tehdä kartasta helpommin lähestyttävän ja käytettävyydeltään paremman. Markereina voidaan käyttää kartta-rajapinnan oletus kuvakkeita tai vaihtoehtoisesti omia kuvakkeita.

5 Karttakäyttöliittymäprototyyppien toteuttaminen

Landis+Gyrille toteutetut karttakäyttöliittymäprototyypit ja niiden toteutus ovat siirretty liitteisiin salassapitosopimusten vuoksi.

6 Käyttöliittymävaihtoehtojen käytettävyyssarviointi

Toteuttamilleni käyttöliittymille tehtiin käytettävyyssarviointi, jonka tarkoituksena oli löytää mahdolliset käytettävyysongelmat ja saada palautetta, kuinka käyttöliittymiä voitaisiin kehittää tulevaisuudessa sekä selvittää kumpi vaihtoehtoista vastaa paremmin Landis+Gyrin tarpeita. Koska käyttöliittymistä haluttiin palautetta ja kehitysehdotuksia sekä vastaus käyttöliittymien sisällön vastaamisesta Landis+Gyrin tarpeisiin, käytettiin mukautettua käytettävyyssarviointia, joka ei täysin vastannut Nielsenin (1993) ohjeistusta heuristisesta arvioinnista. Arvioinnissa mukana ei ollut ainoastaan käytettävyyden asiantuntijoita, vaan myös työntekijöitä ja mahdollisia loppukäyttäjiä, jotka tietävät tarpeet, joita ohjelmistolta vaadittaisiin.

6.1 Arvioinnin suoritus

Arvioinnin suorittamiseen osallistui viisi henkilöä. Jokaiselle arvioitsijalle lähetettiin toimintaohjeet käyttäen sähköpostia. Arviointi suoritettiin omatoimisesti testaamalla käyttöliittymässä olevia toimintoja, samalla kirjatun ylös mahdollisia ongelmakohtia ja listaamalla kehitysehdotuksia. Kun arvioitsija oli mielestään tutkinut käyttöliittymiä tarpeeksi, annettiin hänelle kolme eri tehtävää, jotka tuli suorittaa käyttöliittymässä sekä lista apukysymyksistä, joihin olisi hyvä kiinnittää huomiota tehdessä arviointia. Lista mukaili Nielsenin (1993) esittämiä heuristiikoita. Liite 1 esittää tehtävät ja listan

apukysymyksistä. Arvioitsijat vastasivat apukysymyksiin ja samalla listasivat löytämäänsä ongelmakohtia sekä kirjasivat parannusehdotuksia, jos niitä löytyi lisää apukysymysten avulla.

6.2 Arvioinnin tulokset

Kokonaisuutena arvioinnin tulokset mukailivat Nielsenin (1993) esittämää teoriaa arvioitsijoiden määrän suhteesta käytettävyysongelmien löytymiseen. Toteutettaessa käyttöliittymiä olin tiedostanut mahdollisia ongelmakohtia käytettävyydessä, joita myöskin arvioitsijat löysivät. Huomattavaa oli kuitenkin, että ongelmakohdat jäivät osalta arvioitsijoista täysin huomaamatta, vaikka itse kehittäjänä koin ongelmat suureksi. Esimerkkinä tällaisesta ongelmasta voidaan mainita klusteri-ikonien sijoittuminen päällekkäin tietyillä zoomaus-tasoilla mikä teki kartasta epäselvän johtuen klustereiden suuresta lukumäärästä. Kyseistä ongelmaa ei maininnut kukaan arvioitsijoista.

Arvioitsijoiden lukumäärä auttoi selvästi ongelmien löytämisessä. Käyttöliittymistä löytyi useita ongelmia, jotka vain yksi viidestä arvioitsijasta löysi. Tämä vahvistaa Nielsenin teoriaa arvioitsijoiden määrän vaikutuksesta. Erilaiset ihmiset kiinnittävät huomiota erilaisiin yksityiskohtiin, eivätkä näin huomaa kaikkia ongelmia käytettävyydessä.

Käyttöliittymistä löytyi toki sellaisiakin ongelmia, jotka kaikki arvioitsijat löysivät. Tällaisina mainittakoon hakukentän avulla haetun yksikön huono erottuminen muista vieressä olevista yksiköistä. Parannusehdotuksena oli automaattinen kyseisen yksikön tietoikkunan aukeaminen. Hakukenttään liittyvänä ongelmana mainittiin liian monta hakukenttää. Arvioitsijoiden mielestä paras tapa haulle olisi vain yksi hakukenttä, joka tunnistaisi kaikki annetut syötteet. Ongelmina koettiin myös pienet visuaaliset yksityiskohdat, kuten tekstien värit, vääräntyyppiset ikonit yksiköille ja virheilmoitusten visuaalinen eroavaisuus verraten käyttöliittymän visuaaliseen ilmeeseen.

Molemmista karttakäyttöliittymistä löytyi samanlaisia ongelmia visuaalisesta sekä toiminnallisesta näkökulmasta, koska käyttöliittymiin pyrittiin toteuttamaan samat toiminnot ja visuaalinen ulkoasu pidettiin samana. Eroavaisuutena käyttöliittymissä

olivat kartan ja toimintoikkunoiden esittäminen. Ensimmäisessä käyttöliittymävaihtoehdossa keskityttiin enemmän toimintoikkunoiden suoraan esittämiseen, kun taas toinen vaihtoehto sisälsi koko näytön peittävän kartan ja kaikki toiminnot ja toimin-
toikkunat esitettiin kartan päällä.

Käyttöliittymävaihtoehto, jossa kartta oli koko näytön kokoinen, sai kritiikkiä turhien klikkailujen määrästä. Kartan päälle täytyi avata erillisiä tietoikkunoita, joista tarvittavat informaatiot olivat saatavilla. Tietoikkunat veivät myös paljon tilaa kartalta ja siitä johtuen karttapohja saattoi olla epäselvä. Tietoikkunoita pystyi siirtelemään ja sulke-
maan, mutta se lisäsi turhien klikkailujen määrää.

Arvioinnin tuloksena voidaan nostaa esiin, että molemmilla käyttöliittymävaihtoehtoilla oli positiivisia ja negatiivisia puolia. Selkeästi ei voida eritellä kumpi vaihtoehtoista vastaa paremmin tarpeita, koska erilaisia toimintoja ja sisältöä täytyy olla tulevaisuudessa moninkertainen määrä verrattuna nykyisiin prototyyppeihin ja ne tekevät mahdollisesta käyttöliittymästä paljon monimutkaisemman.

7 Pohdinta ja yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka sensoriverkon tuottamaa dataa voitaisiin visualisoida karttapohjaisessa käyttöliittymässä käyttäjäystävällisesti. Erilaisia esitystapoja tutkittiin kvalitatiivisten tutkimusmenetelmien avulla. Kvalitatiivisesta tutkimuksesta saadun aineiston perusteella toteutettiin kaksi erilaista käyttöliittymäprototyyppiä, joiden perusteella voitaisiin valita oikea toteutustapa mahdollisesti toteutettavalle karttakäyttöliittymälle. Visualisoinnissa täytyi huomioida Landis+Gyrin tarpeet käyttöliittymän käytettävyyden ja mahdollisten toimintojen kannalta.

Huonon rajauksen ja heikon vaatimusmäärittelyn vuoksi toteutettujen prototyyppi-sovellusten toiminnallisuudet jäivät vähäisiksi ja sensoriverkon visualisoimiseen sekä tutkimiseen liittyvät lisäominaisuudet jäivät toteuttamatta. Prototyyppien toiminnallisuudet olisi voitu määritellä ja rajata tarkemmin, jolloin olisi pystytty tutkimaan tarkemmin tiettyjen toimintojen eri esitystapoja ja vertailla niitä keskenään. Myös laajempi tutustuminen ja perehtyminen yrityksen toimintaan ja sensoriverkosta saatavaan dataan olisi voinut tuoda laajemman näkökulman erityyppisiin toimintoihin, joita karttapohjalla voitaisiin tarvita sekä olisi samalla voinut nostaa esille enemmän

erilaisia datan esitystapoja. Näin saadut tulokset eri toteutustavoista olisivat olleet monipuolisemmat.

Käyttöliittymien käytettävyyttä arvioitiin suorittamalla käytettävyyssarviointi ja arvioinnin perusteella oli tarkoitus valita parempi käyttöliittymä. Käytettävyyssarviointi oli mielestäni onnistunut, koska sen tulokset mukailivat Nielsenin (1993) teoriaa arvioitsijoiden lukumäärän vaikutuksesta käytettävyyssongelmien löytymiseen. Näin ollen käytettävyyssarviointi todisti Nielsenin teorian luotettavaksi. Puutteena toteutetussa arvioinnissa oli kuitenkin kysymys, joka selvittäisi arvioitsijoiden mielipiteen käyttöliittymäprototyyppien paremmuusjärjestyksestä. Arvioinnissa olisi täytynyt selkeästi kysyä arvioitsijoiden mielipidettä käyttöliittymien paremmuudesta, koska ilman sitä opinnäytetyön tekijän täytyi tulkita, kumpi käyttöliittymä on toteutustavaltaan parempi mahdollista tulevaisuuden karttakäyttöliittymää varten. Siitä johtuen opinnäytetyön tekijän oli vaikeaa vastata luotettavasti kysymykseen käyttöliittymien paremmuusjärjestyksestä. Tärkeintä arvioinnissa oli kuitenkin käytettävyyssongelmien löytäminen ja parannusehdotusten kerääminen. Arvioinnin tulosten perusteella voidaan todeta, että Landis+Gyrille sopiva käyttöliittymä tulee olemaan sekoitus toteutettuja prototyyppisiä, joka sisältää molemmissa esiintyviä visualisointitapoja.

Tutkimus osoittautui haastavaksi laajuutensa osalta. Aihe olisi vaatinut selkeämpää rajausta, jotta tutkimuksessa olisi pystytty keskittymään vaihtoehtoisin menetelmiin datan visualisoinnissa. Lisää haasteita tuotti velvoite prototyyppien salassapidosta. Prototyyppien kehityksen kautta saadut tulokset tuntuivat vaikealta esitellä opinnäytetyössä salassapidon vuoksi.

Menetelmät sensoriverkon visualisoimiseen karttapohjalla ovat luotettavista lähteistä, mutta saadut tulokset eivät kerro ovatko menetelmät mahdollisia toteuttaa muilla kuin Google Maps API-rajapinnalla. Tutkimus onnistui kuitenkin hyvin käytettävyyden arvioinnin osalta ja käyttöliittymiin liittyvät ongelmat löydettiin sekä saatiin mahdolliset parannusehdotukset tulevaisuutta varten. Mahdollisessa jatkokehitysvaiheessa aiheita lähdetään tutkimaan oikean datan pohjalta ja lisäämällä oikeita toimintoja, jotka ovat tarkoin määritelty yrityksen tarpeiden pohjalta. Näin saadaan selvitettyä kuinka hyvin opinnäytetyössä esitetyt ratkaisut toimivat laajemmin toteutetussa karttasovelluksessa.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja tekijä oppi paljon sensoriverkoista ja suuren datamäärän visualisoinnista kartalla sekä käytettävyydestä ja sen arvioimisesta. Kyseiset taidot ovat hyödyllisiä, koska niitä tarvitaan varmasti tulevaisuudessa erilaisten karttakäyttöliittymien ja sensoriverkkojen lisääntyessä.

Lähteet

- Agarwal, T. 2016. Wireless Sensor Network Architecture and Its Applications. Viitattu 5.3.2017. <https://www.elprocus.com/architecture-of-wireless-sensor-network-and-applications/>.
- Akyildiz, I. F., Su*, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. 2001. Wireless sensor networks: a survey. Viitattu 25.11.2016. <http://www.ee.oulu.fi/~carlos/WSNPapers/AK02.pdf>.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. p. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2007.
- Hodge, V.J., O'Keefe, S., Weeks, M. & Moulds, A. 2015. Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey. Viitattu 13.12.2016. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6963375/>.
- Jokela, T. 2010. Navigoi oikein käytettävyyden vesillä. Opas käytettävyysohjattuun vuorovaikutussuunnitteluun. p. Väylä-Yhtiöt Oy.
- Kaur, G. & Garg, R.M. 2012. Energy Efficient Topologies For Wireless Sensor Networks. Viitattu 6.3.2017. <http://airccse.org/journal/ijdp/papers/3512ijdp16.pdf>.
- Landis+Gyrin www-sivut. N.d. Viitattu 29.3.2017. <http://www.landisgyr.fi/>.
- Map Types. N.d. Google Maps APIs Documentation Guide. Viitattu 10.2.2017. <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/maptypes>.
- Mata, T. 2015. Esineiden Internet Standardit ja Protokollat. Opinnäytetyö. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.3.2017. https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92798/Mata_Thomas.pdf?sequence=1.
- McGrath, M. J. & Scanail, C. N. 2014. Sensor Technologies: Healthcare, Wellness, and Environmental Applications. Apress.
- Mediastudio. N.d. Web-käytettävyys. Viitattu 3.4.2017. <http://www.uiah.fi/mediastudio/survey4/13.html>.
- Myhrberg, M. 2015. Web-sivujen kehitys ja mobiilioptimointi käytettäessä Bootstrap-alustaa. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.12.2016. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97571/Myhrberg_Mikael.pdf?sequence=1.
- Nielsen, J. 1993. Usability engineering. London: Academic Press Limited.
- Nielsen, J. 1995. 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Viitattu 20.10.2016. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>.
- Nielsen, J. 2000. WWW-suunnittelu. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino.
- Nivala, A-M. 2007. Usability Perspectives For The Design Of Interactive Maps. Viitattu 22.10.2016. <http://lib.tkk.fi/Diss/2007/isbn9789512289431/isbn9789512289431.pdf>.

Nivala, A-M., Brewster, S. & Sarjakoski, T. 2007. Usability Problems Of Web Map Sites. Viitattu 22.10.2016.

http://www.dcs.gla.ac.uk/~stephen/papers/Nivala_etal_ICC07.pdf.

Nurmi, R. 2000. Käyttöliittymien varhainen kehitys. Tietojenkäsittelytieteen historia seminaari, kevät 2000. Helsingin Yliopisto. Viitattu 14.2.2017.

<https://www.cs.helsinki.fi/u/kerola/tkhist/k2000/alustukset/kayttoliittymat/seminari.html>.

Ojala, J.K. 2014. Älykkään sähköverkon ala-aseman liittäminen MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmään. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.3.2017.

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71961/Ojala_Jonna.pdf?sequence=1.

Obaidat, M.S. & Misra, S. 2014. Principles of Wireless Sensor Networks. Cambridge University Press © 2014.

Rouse, M. 2005. User interface (UI), TechTarget network. Viitattu 3.10.2016.

<http://searchsoa.techtarget.com/definition/user-interface>.

Rouse, M. 2011. Smart grid sensor. TechTarget network. IoT Agenda. Viitattu 20.2.2017.

<http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-grid-sensor>.

Rouse, M. 2011. Smart meter. TechTarget network. IoT Agenda. Viitattu 20.2.2017.

<http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-meter>.

Rouse, M. 2016. Network topology. TechTarget network. Viitattu 6.3.2017.

<http://whatis.techtarget.com/definition/network-topology>.

Rubin, J. & Chisnell, D. 2008. Handbook of Usability Testing, Second Edition: How to Plan, Design and Conduct Effective Tests. p. Wiley Publishing, inc., Indianapolis, Indiana.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkojulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 13.11.2016. http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L2_3_2_3.html.

Sohraby, K., Minoli, D. & Znati, T. 2007. Wireless Sensor Networks, Technology, Protocols and Applications. p. John Wiley & Sons, inc., Hoboken, New Jersey.

<http://www.tfb.edu.mk/amarkoski/WSN/Kniga-w02>.

Svennerberg, G. 2009. Handling large amounts of markers in Google Maps. Viitattu 9.2.2017.

<http://www.svennerberg.com/2009/01/handling-large-amounts-of-markers-in-google-maps/>.

Svennerberg, G. 2010. Beginning Google Maps API 3. Apress.

Tuupola, M. 2008. Introduction to marker clustering with Google Maps. Viitattu 9.2.2017.

<https://www.appelsiini.net/2008/introduction-to-marker-clustering-with-google-maps>.

Wagner, J. 2015. Top 10 Mapping APIs: Google Maps, Microsoft Bing Maps and MapQuest. Viitattu 3.2.2017. <http://www.programmableweb.com/news/top-10-mapping-apis-google-maps-microsoft-bing-maps-and-mapquest/analysis/2015/02/23>.

Wilson, J.S. 2005. Sensor Technology Handbook. Elsevier.
<http://een.iust.ac.ir/profs/esmaeilzadeh/instrumentation/Sensor%20Technology%20Handbook.pdf>.

Wireless Sensor Networks project team. N.d. Internet of Things: Wireless Sensor Networks. Viitattu 14.3.2017. <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-internetofthings-LR-en.pdf>.

Xiao, Y. 2012. Communication and Networking in Smart Grids. Auerbach Publications.

Liitteet

- Liite 1. Käytettävyysarvioinnissa käytetyt apukysymykset
- Liite 2. Karttakäyttöliittymäprototyyppien toteuttaminen